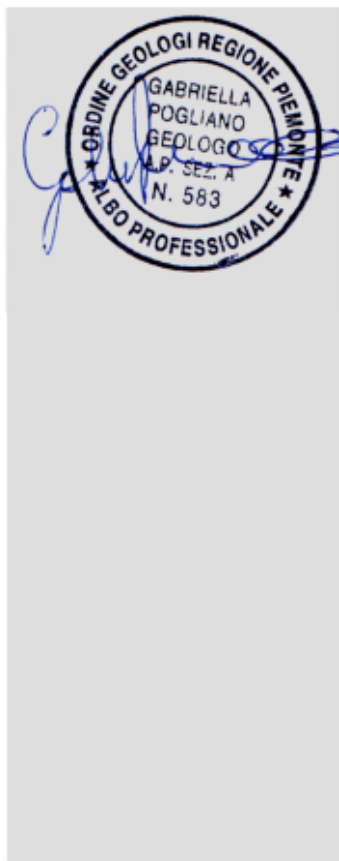


# DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI MONODEDICATA PER MATERIALI DA COSTRUZIONE CONTENENTI CEMENTO-AMIANTO

Progetto:



## GEO. 1

## Relazione geologica e geotecnica

Data

Agosto 2018

REV 02

Revisione

Alliegato:

Elaborato:

### Gruppo di progettazione

Ing. F. Barone      Geol. C. Caselli  
Geom. S. Cattaneo   Prof. F. Adani  
Ing. A. Giordano    Dott.ssa R. Butera  
Ing. M. Bonizzoni   Arch. V. Curti  
Arch. P. Pelliccioli  
Agr. A. Massa Saluzzo  
Nuovi servizi Ambientali srl  
Dott. D. Cottica  
Studio Associato Planeta  
Geol. F. Finotelli  
Ing. Marco Rizzi  
Prof. Otello Del Greco  
Ingegneria e ambiente  
Agr. I. Cavagliotti

Proponente

**Acqua & Sole**

Via Giulio Natta  
Vellezzo Bellini (PV)



**acqua & sole**

**ACQUA & SOLE S.r.l.**  
Sede Legale: Via Vittor Pisani, 16  
20124 MILANO  
Cod. Fisc. e P. IVA: 05795600963

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>7</b>
1.1	Premessa .....	7
1.2	Documentazione di riferimento .....	9
1.3	Limitazioni dello studio .....	10
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO DEL SITO OGGETTO DI INTERVENTO .....</b>	<b>11</b>
2.1	Inquadramento territoriale .....	11
2.2	Inquadramento geomorfologico e idrografia superficiale .....	12
2.3	Inquadramento geologico .....	15
2.4	Inquadramento idrogeologico .....	17
2.5	Vincoli insistenti sul sito di intervento .....	21
2.6	Valutazione della compatibilità dell'intervento in progetto con le Norme di attuazione geologico-tecniche del PRGC .....	23
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO .....</b>	<b>26</b>
3.1	Caratterizzazione sismica del sito .....	27
3.2	Tempo di ritorno.....	28
3.3	Categorie di sottosuolo .....	29
3.4	Condizioni topografiche .....	31
3.5	Azione sismica .....	31
3.6	Accelerazione massima al suolo.....	33
<b>4</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE EFFETTUATE NELL'INTORNO DEL SITO DI INTERVENTO.....</b>	<b>34</b>
4.1	Campagna geognostica (2016) .....	34
4.2	Banca Dati Geotecnica (2009) .....	35
4.3	Campagna geognostica (1998) .....	37
4.4	Campagna geognostica (1988) .....	38
<b>5</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE CONDOTTE IN SITO NELL'AMBITO DELLA PROGETTAZIONE.....</b>	<b>39</b>
5.1	Prima campagna di indagini.....	40
5.2	Seconda campagna di indagini.....	46
5.3	Terza campagna di indagini .....	51

5.4	Sintesi delle caratteristiche dei piezometri installati in sito .....	54
5.5	Misure piezometriche .....	54
5.6	Campionamento e analisi delle acque di falda.....	55
<b>6</b>	<b>ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO ED IDROGEOLOGICO A SCALA LOCALE .....</b>	<b>56</b>
6.1	Assetto litostratigrafico .....	56
6.2	Risultati delle analisi granulometriche .....	57
6.3	Risultati delle prove di permeabilità .....	60
6.4	Risultati dei rilievi piezometrici.....	61
6.5	Ricostruzione dell'andamento della superficie piezometrica .....	63
6.6	Coerenza degli esiti delle indagini sito specifiche condotte nell'ambito della progettazione con i dati geognostici pregressi.....	64
<b>7</b>	<b>RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>65</b>
7.1	Parametri geotecnici .....	66
<b>8</b>	<b>ESITI DELLA CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE.....</b>	<b>70</b>
8.1	Analisi condotte sui terreni .....	70
8.2	Analisi condotte sulle acque di falda.....	71
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>73</b>

#### **TABELLE (nel corpo del testo)**

**Tabella a:** zonazione sismica (OPCM n° 3519 del 28 /04/2006).

**Tabella b:** poli di riferimento per il sito in oggetto.

**Tabella c:** probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato.

**Tabella d:** probabilità di superamento  $P_{VR}$  e del rispettivo tempo di ritorno.

**Tabella e:** categorie di sottosuolo di riferimento.

**Tabella f:** categorie topografiche

**Tabella g:** accelerazione massima al suolo e parametri spettrali del sito.

**Tabella h:** accelerazione massima del sito e coefficienti sismici.

**Tabella i:** sintesi dei risultati ottenuti.

**Tabella j:** sintesi dei risultati delle prove SPT e Lefranc eseguite.

**Tabella k:** quadro riassuntivo dei sondaggi eseguiti.

**Tabella l:** sintesi dei risultati delle prove SPT eseguite.

**Tabella m:** analisi granulometriche relative al terreno limoso-argilloso

**Tabella n:** analisi granulometriche relative al terreno ghiaioso-sabbioso-limoso

**Tabella o:** esiti della prova di permeabilità

**Tabella p:** parametri geotecnici di riferimento.

#### **FIGURE (nel corpo del testo)**

**Figura a** – vista aerea del sito di interesse (immagine tratta da Google Earth, non in scala).

**Figura b** – reticolo idrografico superficiale (fonte CTR)

**Figura c** – reticolo idrografico superficiale (fonte IGM)

**Figura d**– estratto del Foglio 43 Biella (Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000). Immagine non in scala

**Figura e**– estratto della Carta Geologica alla scala 1:25.000 (PRGC Comune di Salussola – variante strutturale 2002)

**Figura f**– estratto dalla Carta della superficie piezometrica (banca dati Regione Piemonte). Scala 1:25.000

**Figura g**– stralcio del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI), foglio 115 sez. III – Cavaglià. Scala 1:25.000

**Figura h**– stralcio della “Carta di Sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica”. Scala 1:5.000

**Figura i** – carta della pericolosità sismica (INGV).

**TABELLE (ALLEGATE)**

- Tabella 1** Caratteristiche dei piezometri installati in sito
- Tabella 2** Risultati dei rilievi piezometrici
- Tabella 3** Esiti caratterizzazione ambientale terreni (campagna 2016)
- Tabella 4** Esiti delle analisi agronomiche
- Tabella 5** Esiti caratterizzazione ambientale terreni (campagna 2018)
- Tabella 6** Risultati delle analisi condotte sulle acque di falda (campagna di gennaio 2017)
- Tabella 7** Risultati delle analisi condotte sulle acque di falda (campagna di luglio 2017)
- Tabella 8** Risultati delle analisi condotte sulle acque di falda (campagna di luglio 2017)

**FIGURE (ALLEGATE)**

- Figura 1** Corografia del sito
- Figura 2** Carta geologica e geomorfologica
- Figura 3** Carta idrogeologica
- Figura 4** Ubicazione delle indagini pregresse
- Figura 5** Ubicazione delle indagini geognostiche condotte nell'ambito della progettazione
- Figura 6** Sezione litostratigrafica A-A'
- Figura 7** Sezione litostratigrafica B-B'

**Figura 8** Carta piezometrica

**ALLEGATI**

- Allegato 1** Stratigrafie e risultati prove sondaggi pregressi (1988 - 2016)
- Allegato 2** Stratigrafie dei sondaggi effettuati nel periodo novembre-dicembre 2016 (prima campagna)
- Allegato 3** Documentazione fotografica relativi ai sondaggi effettuati nel corso della prima campagna di indagine
- Allegato 4** Documentazione relativa ai sondaggi effettuati nel luglio 2017 (stratigrafie e documentazione fotografica)
- Allegato 5** Stratigrafie dei sondaggi effettuati nel luglio 2018
- Allegato 6** Documentazione fotografica relativa ai sondaggi effettuati nel luglio 2018
- Allegato 7** Rapporti di prova relativi alle analisi geotecniche effettuate nell'ambito della prima campagna di indagine
- Allegato 8** Rapporti di prova relativi alle analisi granulometriche effettuate nell'ambito della seconda campagna di indagine
- Allegato 9** Rapporti di prova relativi alle analisi granulometriche effettuate nell'ambito della terza campagna di indagine
- Allegato 10** Rapporti di prova relativi alle prove di permeabilità effettuate in sito nell'ambito della seconda campagna di indagine
- Allegato 11** Rapporti di prova relativi alle prove di permeabilità effettuate in sito nell'ambito della terza campagna di indagine

- Allegato 12** Rapporti di prova relativi alle analisi ambientali effettuate sui terreni nell'ambito della prima campagna di indagine
- Allegato 13** Rapporti di prova relativi alle analisi ambientali effettuate sui terreni nell'ambito della terza campagna di indagine
- Allegato 14** Rapporti di prova relativi alle analisi effettuate sulle acque di falda (campagna di gennaio 2017)
- Allegato 15** Rapporti di prova relativi alle analisi effettuate sulle acque di falda (campagna di luglio 2017)
- Allegato 16** Rapporti di prova relativi alle analisi effettuate sulle acque di falda (campagna di luglio 2018)

## **1 INTRODUZIONE**

### **1.1 Premessa**

Il presente studio è stato elaborato nell'ambito della progettazione di una discarica per rifiuti non pericolosi monodedicata a materiale da costruzione contenente cemento-amianto, ubicata nel comune di Salussola (BI) in località Brianco.

Il presente studio persegue i seguenti obiettivi:

- inquadrare l'area di intervento nel contesto geologico e geomorfologico a scala regionale;
- ricostruire l'assetto stratigrafico ed idrogeologico del sottosuolo a scala locale;
- elaborare un modello geologico del sottosuolo e ricavare i parametri geotecnici dello stesso;
- valutare, sotto il profilo ambientale, le caratteristiche del terreno oggetto di scavo nell'ambito dell'intervento in progetto.

Lo studio è basato su dati bibliografici dell'area in esame, sugli allegati geologici del piano regolatore comunale (PRGC) e sui dati emersi dalle indagini geognostiche appositamente effettuate in sito nell'ambito della progettazione.

Il presente documento costituisce la seconda revisione del documento trasmesso nel maggio 2017.

Una prima revisione del documento è stata elaborata nel settembre 2017 a seguito delle osservazioni formulate dall'Organo Tecnico istituito presso la Provincia di Biella nel verbale di riunione congiunta dell'11/07/2017. La versione datata settembre 2017 era stata aggiornata con gli esiti delle indagini integrative effettuate in sito nel periodo compreso tra giugno e settembre 2017 al fine di ricostruire con maggior dettaglio l'assetto geologico ed idrogeologico del sottosuolo.



La presente revisione del documento è stata redatta al fine di rispondere alle richieste di chiarimento formulate dalla Provincia di Biella nella comunicazione prot. n. 14672 E-XI-2-177. Nel dettaglio, il presente documento, oltre a riportare gli esiti delle indagini già trasmesse nelle versioni precedenti, descrive gli esiti delle indagini geognostiche integrative condotte nel luglio 2018 al fine di:

- completare il modello geologico già elaborato sulla base delle indagini pregresse con particolare riferimento all'esclusione della presenza, nel sottosuolo del sito oggetto di intervento, di una falda acquifera sospesa;
- completare la rete piezometrica del sito, definire l'assetto idrogeologico del sottosuolo e valutare il grado di oscillazione della superficie di falda completando il periodo di misurazione dei livelli piezometrici prescritto dagli Enti della durata di un anno;
- acquisire ulteriori dati circa la qualità delle acque di falda;
- valutare la qualità del terreno, in termini di assetto stratigrafico e ambientale, dell'area destinata allo stoccaggio temporaneo delle terre da scavo dalla quale si prevede di ricavare la quota parte di limo argilloso necessaria a completare il fabbisogno per la posa dello strato di impermeabilizzazione;
- acquisire ulteriori dati circa le caratteristiche granulometriche del terreno grossolano che si prevede di sottoporre a vagliatura al fine di soddisfare il fabbisogno di ghiaia per la formazione dello strato drenante.

Il presente documento risulta così strutturato:

- inquadramento territoriale, geomorfologico, geologico ed idrogeologico del sito (**Capitolo 2**);
- sismicità del sito di intervento (**Capitolo 3**);
- descrizione dei risultati delle indagini disponibili effettuate in prossimità del sito (**Capitolo 4**);

- descrizione delle indagini geognostiche condotte in sito nell'ambito della progettazione (**Capitolo 5**);
- descrizione dell'assetto litostratigrafico ed idrogeologico del sottosuolo a scala locale (**Capitolo 6**);
- esiti della caratterizzazione geotecnica (**Capitolo 7**);
- esiti della caratterizzazione ambientale (**Capitolo 8**);
- conclusioni (**Capitolo 9**).

## 1.2 Documentazione di riferimento

La documentazione esaminata ai fini dell'elaborazione del presente documento comprende:

- S.G.I. (1969) - Carta geologica F. 43 - Biella, scala 1:100.000;
- F. Carraro & G. Bortolami, R. Sacchi (1967) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 43 Biella;
- Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Tavola di destinazione d'uso delle fasce fluviali, Foglio 115 Sez. III – Cavaglià;
- Regione Piemonte – Studio idrogeologico finalizzato alla caratterizzazione dell'acquifero superficiale nel territorio della pianura della Provincia di Torino;
- Provincia di Torino (2002) – Le acque sotterranee della Pianura di Torino Provincia di Torino Area Ambiente, Parchi, Risorse Idriche e Tutela della Fauna - Servizio Gestione Risorse Idriche – Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra;
- Regione Piemonte – Direzione Ambiente – Risorse Idriche. Carta della soggiacenza della falda libera superficiale;
- Elaborati geologici e cartografici a corredo del PRGC del Comune di Salussola;

- Piattaforma webgis GeoPortale ARPA Piemonte “Banca dati geotecnica”;
- S. Tommaso srl (2016) - Relazione Geotecnica “Impianto di recupero energetico per la produzione di energia da fonti rinnovabili (biometano), mediante trattamento di rifiuti organici selezionati in processi di digestione anaerobica e compostaggio Frazione Brianco – Comuni di Salussola (BI) e Dorzano (BI)”;
- Provincia di Biella – Servizio Rifiuti, Valutazione di Impatto Ambientale, Energia e Qualità dell’Aria, Acque Reflue Risorse Idriche – Organo Tecnico presso la Provincia di Biella ai sensi art. 7 L.R. 40/98 e s.m.i. e Comitato tecnico per i Problemi dell’Ambiente della Provincia di Biella per istruttoria IPPC D.lgs 152/06 e s.m.i. – Verbale di Riunione congiunta del 11/07/2017.

### **1.3 Limitazioni dello studio**

Questo rapporto è basato sull’applicazione di principi di buona tecnica e su valutazioni professionali di situazioni suscettibili di interpretazioni soggettive. Le valutazioni professionali di seguito espresse sono basate sulle informazioni disponibili al momento della preparazione del rapporto e sono condizionate dai limiti imposti dai dati esistenti e dalle finalità del lavoro.

Il contenuto di questo rapporto non costituisce parere legale.

## 2 INQUADRAMENTO DEL SITO OGGETTO DI INTERVENTO

### 2.1 Inquadramento territoriale

Il sito oggetto di intervento è ubicato all'interno del territorio comunale di Salussola (BI) in località Brianco, in posizione sud-est rispetto al centro urbano di Salussola, in un'area pianeggiante precedentemente adibita ad attività agricola (**Figura** ).

A scala regionale, il territorio comunale di Salussola si colloca nel settore sud-occidentale della Provincia di Biella, al limite tra la piana del T.te Elvo ed il margine orientale dell'apparato morenico della Serra di Ivrea.

Il sito di intervento è ubicato in destra idrografica del T.te Elvo e si estende su una superficie complessiva di circa 81.000 m<sup>2</sup>.



**Figura a** – vista aerea del sito di interesse (immagine tratta da Google Earth, non in scala).

## 2.2 Inquadramento geomorfologico e idrografia superficiale

A scala regionale, la morfologia dell'area deriva dai processi di modellamento superficiale verificatisi durante le glaciazioni quaternarie, la cui forma residua principale è rappresentata dall'anfiteatro morenico della Serra d'Ivrea.

Tale struttura rappresenta un elemento dominante, con un rilevante sviluppo sia longitudinale che trasversale, dal raccordo con le pendici alpine a NW (Croce Serra, Andrate) sino all'abitato di Carisio, a S.

Trasversalmente (in senso NE-SW), la morena laterale sinistra deposta dal ghiacciaio, che si affacciava sulle aree di pianura, occupa una vasta area delimitata a NE dal corso del T.te Elvo ed a SW dalla piana alluvionale che dal lago intramorenico di Viverone si spinge sino ad Ivrea, raccordandosi poi al fondo valle della Dora Baltea.

La struttura della Serra è caratterizzata da fasce e cordoni morenici propriamente detti, estesi in direzione NW-SE, costituiti da materiali eteropici ed eterometrici caoticamente accumulati e privi di classazione (morenico s.s.) e da materiali erosi e trasportati dai corsi d'acqua subglaciali, deposti in strutture a maggior organizzazione interna (depositi fluvioglaciali).

Il continuo apporto di materiale solido dovuto al trasporto glaciale ha determinato la progressiva trasformazione dell'apparato morenico il quale, da un lato, veniva continuamente alimentato mentre dall'altro subiva un'opera di costante rielaborazione da parte dei numerosi scaricatori subglaciali. All'azione di questi ultimi è imputabile la genesi, all'esterno dell'apparato morenico, di un'estesa conoide di depositi alluvionali (fluvioglaciali) a debole pendenza.

Le ultime fasi orogenetiche dell'arco alpino determinarono l'instaurarsi di diffusi processi erosivi da parte dei corsi d'acqua superficiali che portarono all'incisione dei depositi glaciali e fluvioglaciali.

Dal punto di vista idrografico, l'area oggetto di intervento è collocata in prossimità del Torrente Elvo, in destra idrografica. Il torrente

attraversa da NW a SE l'intero territorio comunale di Salussola, compiendo liberamente una serie di meandri poco accentuati, la cui fascia di inviluppo (definibile in prima approssimazione come alveo di piena ordinaria) presenta un'estensione trasversale variabile tra 100 e 220 m circa.

E' inoltre presente un'importante rete idrografica superficiale di canali localmente regimentata a scopo irriguo.

Il reticolo idrografico superficiale dell'area di intervento è graficamente illustrato nelle due figure seguenti (fonte: CTR Regione Piemonte DB3 e IGM 1:25.000)



**Figura b**– reticolo idrografico superficiale (fonte CTR)



Figura c – reticolo idrografico superficiale (fonte IGM)

Come mostrato nelle figure sopra riportate, l'area oggetto di intervento è interessata:

- a Nord (distante circa 250 m) da un modesto rio, che una volta attraversata la ferrovia si immette in un ulteriore corso d'acqua per sfociare nel T. Elvo;
- a Est (distante circa 450 m, oltre la massicciata ferroviaria) da un canale artificiale denominato Navilotto di S. Damiano;
- a circa 800 m a Est dal Torrente Elvo.

Si segnala la presenza di modesti specchi d'acqua superficiali nel settore a NW dell'area di intervento; i suddetti laghetti rappresentano dei bacini di accumulo di acqua superficiale creati a scopo irriguo ed impostati nel livello limoso-argilloso presente nei primi 5 m di profondità dal p.c. e dotato di bassa permeabilità. Non costituiscono affioramento della falda idrica sotterranea, la cui superficie è stata intercettata all'interno del sito a profondità dell'ordine di 34 -36 m dal p.c., come specificato nel dettaglio al Capitolo 6 del presente documento ("ricostruzione dell'assetto litostratigrafico ed idrogeologico a scala locale"). Anche tenendo conto delle differenze topografiche e del gradiente idraulico, la superficie idrica

presente all'interno dei laghetti non può essere in alcun modo in comunicazione idraulica con la falda acquifera, posta ad elevata profondità dal p.c..

### 2.3 Inquadramento geologico

L'areale in questione è caratterizzato da litotipi di origine sedimentaria associati a diversi ambienti deposizionali.

In generale, il T.te Elvo, che attraversa diagonalmente il territorio comunale, contrassegna il limite tra la porzione orientale dell'areale comunale, costituita da terreni di età rissiana e di ambiente fluvioglaciale, e la porzione occidentale, il cui assetto è essenzialmente dovuto al trasporto glaciale. Le cerchie moreniche rissiane sono prevalentemente rappresentate da ghiaie sabbiose alterate su spessori metrici, con locale presenza di coltri eoliche loessiche, rilevate anche di una decina di metri sull'attuale corso del T.te Elvo.

Secondo quanto indicato sulla Carta Geologica d'Italia, Foglio 43 – Biella, di cui si riporta uno stralcio in **Figura**, il sottosuolo del sito, risulta costituito da depositi fluvioglaciali ciottolosi grossolani, profondamente alterati di colore rosso bruno (indicati nella cartografia IGM con la sigla fg<sup>M</sup>).

I suddetti depositi fluvioglaciali si rinvencono in corrispondenza del settore laterale sinistro dell'anfiteatro morenico di Ivrea, in prossimità delle cerchie moreniche mindeliane.

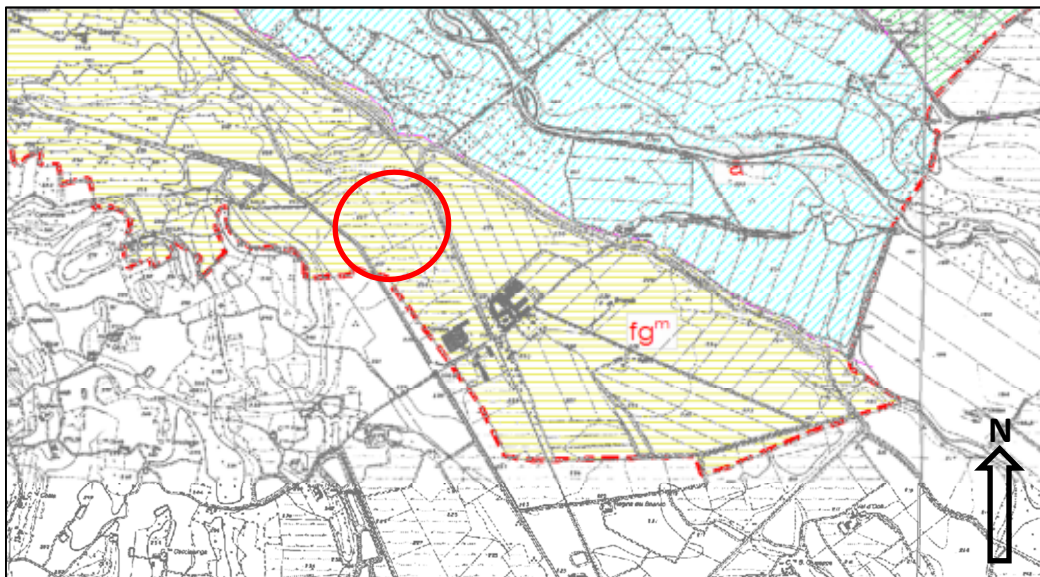
Grazie alla morfologia pianeggiante, tali depositi conservano quasi sempre il proprio paleosuolo; sovrapposto a quest'ultimo, non è raro rinvenire livelli di un loess giallastro debolmente argillificato, tardo rissiano (porzione a S dell'abitato di Salussola).





**Figura d**– estratto del Foglio 43 Biella (Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000). Immagine non in scala. In rosso l’area in oggetto.

Secondo quanto indicato nella Carta Geologica a corredo del PRGC (Figura) il sito di intervento ricade sull’areale di affioramento delle alluvioni fluvio-glaciali ciottolose grossolane ( $fg^m$ ), conformemente con quanto indicato nella cartografia del foglio 43 Biella.



**Figura e**– estratto della Carta Geologica alla scala 1:25.000 (PRGC Comune di Salussola – variante strutturale 2002). In rosso l’area in oggetto.

Per un maggior dettaglio, si rimanda alla **Figura 2**, redatta sulla base dei dati provenienti dal PRGC e dalla Carta Geologica d'Italia.

## 2.4 Inquadramento idrogeologico

A scala regionale, l'area in oggetto si colloca all'interno dell'estesa pianura Biellese-Vercellese-Novarese, la quale risulta essere delimitata a N dai rilievi alpini, a S dai rilievi collinari del Monferrato, a W dall'anfiteatro morenico della Serra di Ivrea e dal F. Dora Baltea e ad E dai limiti territoriali della regione Piemonte.

Il territorio può essere suddiviso, dal punto di vista idrogeologico, in tre complessi principali caratterizzati da differenti proprietà litologiche e di permeabilità (Civita e Pizzo, 2001):

- complesso I o complesso ghiaioso: rappresenta il complesso di età più recente ed è costituito dai depositi alluvionali e fluvio-glaciali ghiaioso-sabbiosi quaternari la cui potenza, alla scala del territorio comunale, risulta compresa tra 20 e 30 m circa. È caratterizzato da alternanze di sedimenti più grossolani (ghiaie sabbiose e ghiaie sabbioso-limose) con orizzonti più fini (sabbie e limi debolmente argillosi) che nell'insieme riducono la permeabilità del complesso ad un grado medio ( $1 \cdot 10^{-4}$  -  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s). Il complesso ospita una falda libera alimentata in parte dagli apporti meteorici e in parte dalle perdite dei corsi d'acqua principali con cui è posta in stretta relazione;
- complesso II o complesso delle alternanze: è costituito da alternanze di depositi a granulometria grossolana (sabbie e ghiaie) e fine (argille e limi) riferibili alla serie villafranchiana. Esso rappresenta un potente acquifero multifalda (spessore valutabile fino al centinaio di metri). I livelli più produttivi sono costituiti da sabbie eterogenee fossilifere intervallate a livelli di argille e siltiti di

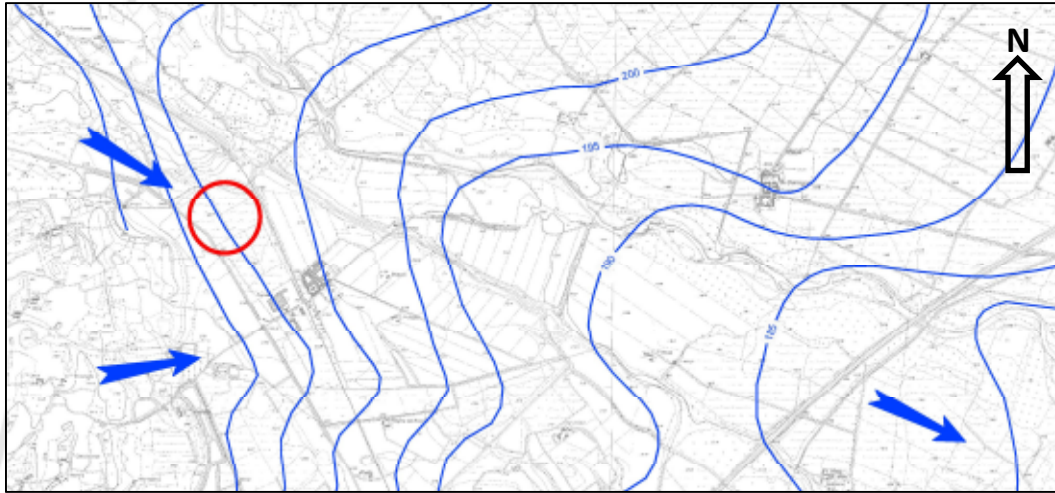
potenza decametrica e sono caratterizzati da valori di conducibilità idraulica dell'ordine di  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s. I livelli argilloso-limosi a bassa permeabilità che separano le diverse falde acquifere contenute nel complesso II presentano spessori non uniformi;

- complesso III o complesso arenaceo-marnoso: corrisponde all'unità stratigrafica strutturale più antica (Pliocene). È costituito dalle sequenze sabbioso-argillose di ambiente marino o transizionale. La permeabilità dei livelli a granulometria più grossolana, ospitanti falde acquifere in pressione, risulta modesta per l'abbondante frazione argillosa.

Secondo quanto riportato nello studio geologico a corredo del PRGC i depositi alluvionali del complesso I presentano una potenza di circa 30 m; i sottostanti livelli permeabili ghiaiosi e sabbiosi appartenenti al Complesso II (Plio-Pleistocenico) ed al sottostante Complesso III (Pliocenico marino) costituiscono, nel loro insieme, un sistema multifalda in pressione caratterizzato da acquiferi numerosi ma spazialmente delimitati, intercettati dai pozzi più profondi (140-160 metri).

Secondo quanto ricavato dalla Banca Dati Regione Piemonte, i depositi fluvioglaciali che caratterizzano l'area in oggetto ospitano una falda idrica superficiale con direzione di deflusso prevalente orientata da NNW verso SSE con un gradiente idraulico dell'ordine del 1,3 %. Alla scala del sito, la superficie di falda dovrebbe essere presente ad una quota di circa 210 m s.l.m.; tenendo conto della quota del piano campagna (circa 232 m s.l.m.), si ricava una soggiacenza dell'ordine di circa 22 m (**Figura**).

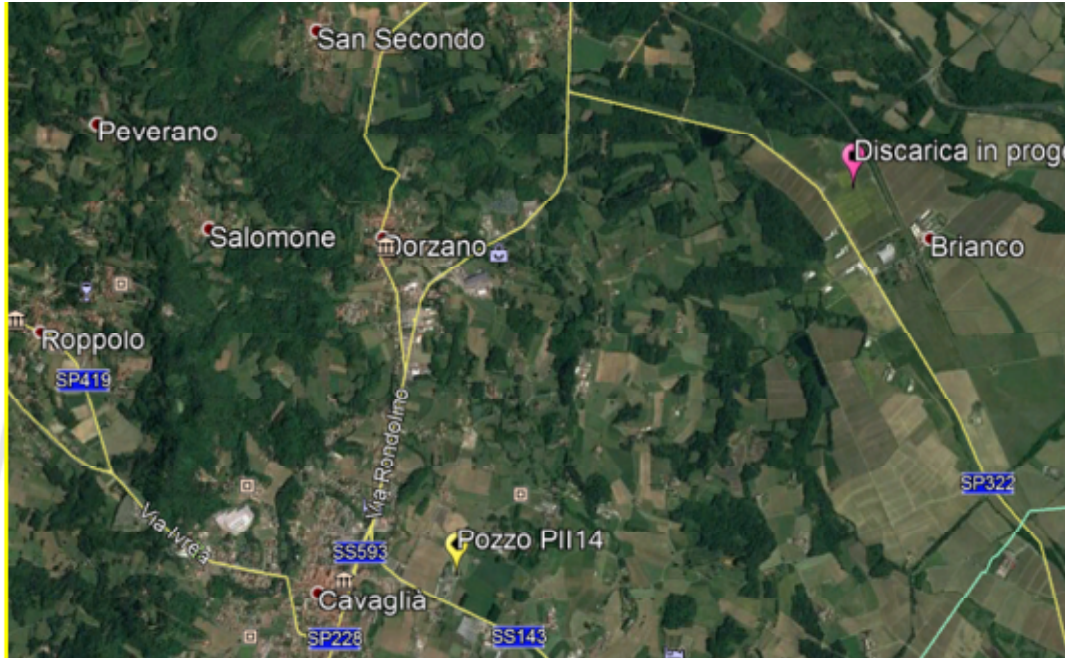
Si rimanda alla **Figura 3** per l'elaborazione dei dati piezometrici a grande scala, ricavati dalla Banca Dati Regione Piemonte.



**Figura f**– estratto dalla Carta della superficie piezometrica (banca dati Regione Piemonte). Scala 1:25.000. In rosso l’area in oggetto.

Le indagini geognostiche condotte in sito, i cui esiti sono descritti al Capitolo 6 del presente documento, hanno evidenziato quote piezometriche inferiori, di circa 13 m, rispetto a quelle ricavate dalla carta piezometria a scala regionale. A scala locale infatti la soggiacenza della falda idrica superficiale risulta essere dell’ordine di 34-36 m dal p.c.; non è stata inoltre rilevata la presenza di falde sospese poste a quote piezometriche superiori.

Ai fini di valutare le potenziali oscillazioni stagionali del livello di falda si è fatto riferimento ai dati piezometrici acquisiti in modalità continua presso il pozzo facente parte della rete di monitoraggio della Regione Piemonte identificato con il codice PII14, ubicato a Cavaglià in prossimità del cimitero comunale (coordinate UTM:  $x = 429784$ ;  $y = 5028458$ , quota 260 m s.l.m.). La seguente immagine mostra l’ubicazione del pozzo PII14, posto ad una distanza di circa 3,5 km in direzione SW rispetto al sito di intervento.

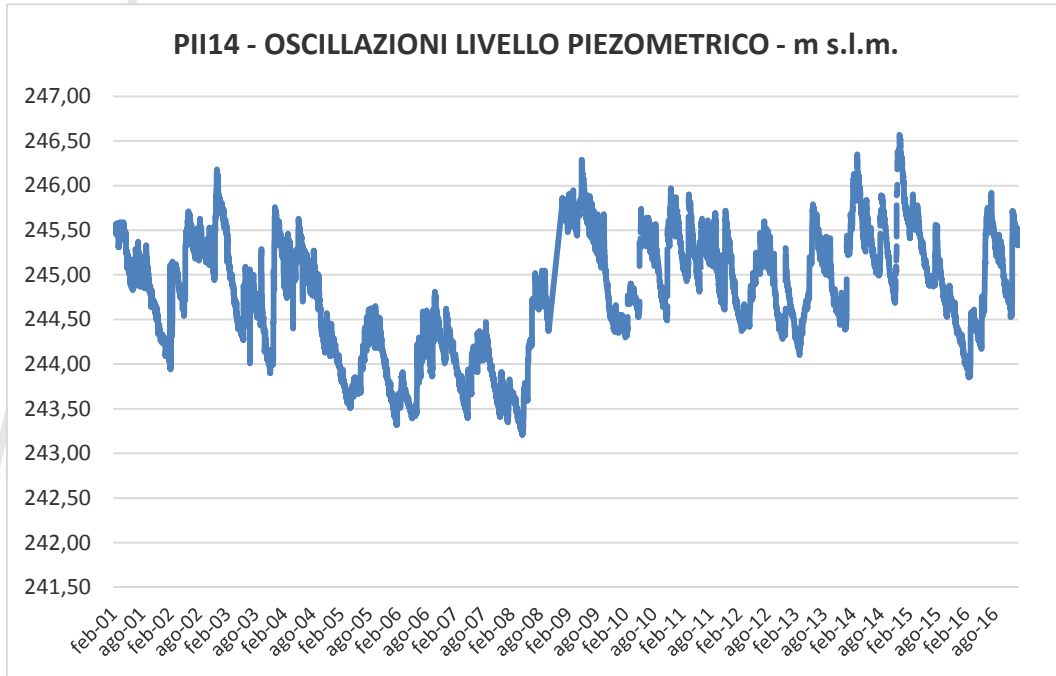


Vista aerea del sito con ubicazione del pozzo PII14 (rete di monitoraggio della Regione Piemonte)

I dati piezometrici relativi al pozzo PII14, misurati in automatico con un intervallo di 6 ore (4 misure/giorno) e riferiti al periodo di osservazione compreso fra il 16/02/01 al 31/12/2016, sono stati direttamente scaricati dal Servizio di monitoraggio delle acque della regione Piemonte consultabile al sito

[http://www.regione.piemonte.it/ambiente/acqua/servizi\\_dati.htm](http://www.regione.piemonte.it/ambiente/acqua/servizi_dati.htm)

L'andamento del livello piezometrico (espresso in quote assolute in m s.l.m.) è mostrato nel seguente grafico.

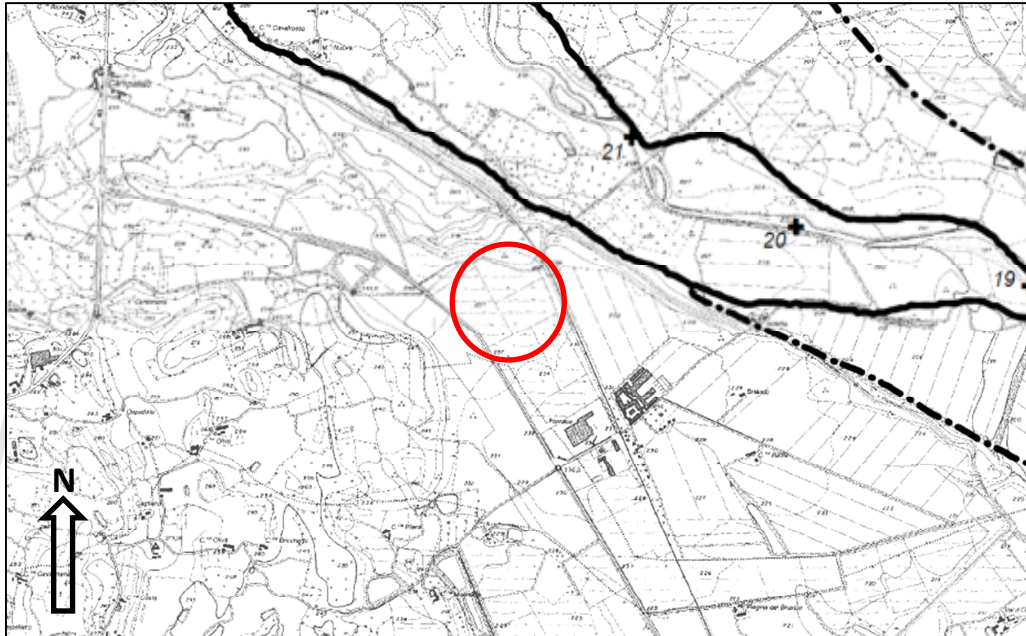


Come si evince dal grafico, nel periodo di osservazione considerato la massima oscillazione del livello piezometrico (calcolata considerando la differenza fra la quota minima e la quota massima registrata) risulta pari a circa 3,4 m; l'oscillazione stagionale si attesta su valori medi dell'ordine di 2 m.

## 2.5 Vincoli insistenti sul sito di intervento

Con riferimento alla documentazione prodotta dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, è stata verificata la delimitazione delle Fasce Fluviali nell'area di intervento. Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Delimitazione delle Fasce Fluviali emesso dall'Autorità di Bacino del Fiume Po (1999) con delibera n. 1/1999 e successive integrazioni definisce, nell'ambito dell'area di progetto, l'andamento delle Fasce Fluviali relative ai corsi d'acqua principali (torrente Elvo).

L'area di intervento non rientra nell'ambito delle fasce fluviali individuate dal PAI essendo localizzata all'esterno della fascia C (**Figura g**), che nel caso specifico coincide con le fasce B ed A.



**LEGENDA**

-----	limite (*) tra la Fascia A e la Fascia B
————	limite (*) tra la Fascia B e la Fascia C
.....	limite (*) esterno della Fascia C
●●●●●●	limite (*) di progetto tra la Fascia B e la Fascia C

**Figura g** – stralcio del Piano per l’Assetto Idrogeologico (PAI), foglio 115 sez. III – Cavaglià. Scala 1:25.000. In rosso l’area in oggetto.

Secondo quanto indicato nella cartografia di sintesi della pericolosità geomorfologica e idoneità dell’utilizzazione urbanistica redatta per la variante strutturale al PRGC (Piano Regolatore Generale Comunale) di Salussola, l’area di intervento ricade in classe II<sub>a</sub> di idoneità all’utilizzazione urbanistica ai sensi della Circolare 7/lap (**Figura h**).

La classe II<sub>a</sub> è così definita: “porzioni di territorio dove esiste una sola condizione di pericolosità geomorfologica o idrogeologica o idrologica, moderata e superabile con l’adozione ed il rispetto di accorgimenti a livello del singolo lotto o della singola area omogenea”.

All'interno delle aree ricadenti in classe II<sub>a</sub> non si segnalano limitazioni all'uso urbanistico, previa adozione di accorgimenti tecnici tali da superare le problematiche di rischio presenti, realizzabili a livello di progetto esecutivo nell'ambito del singolo lotto edificatorio. Come riportato nelle Norme di attuazione geologico-tecniche (N.T.A.G.) a corredo del PRGC si sottolinea, tuttavia, che nelle aree inserite in classe II<sub>a</sub> non sono consentiti piccoli interventi sottofalda quali interrati e seminterrati di tipo privato. Sono invece consentiti interventi nell'ambito di opere pubbliche non altrimenti localizzabili previa adozione di specifiche tecnologie in grado di risolvere l'interferenza con la falda superficiale con adeguati margini di sicurezza.

## **2.6 Valutazione della compatibilità dell'intervento in progetto con le Norme di attuazione geologico-tecniche del PRGC**

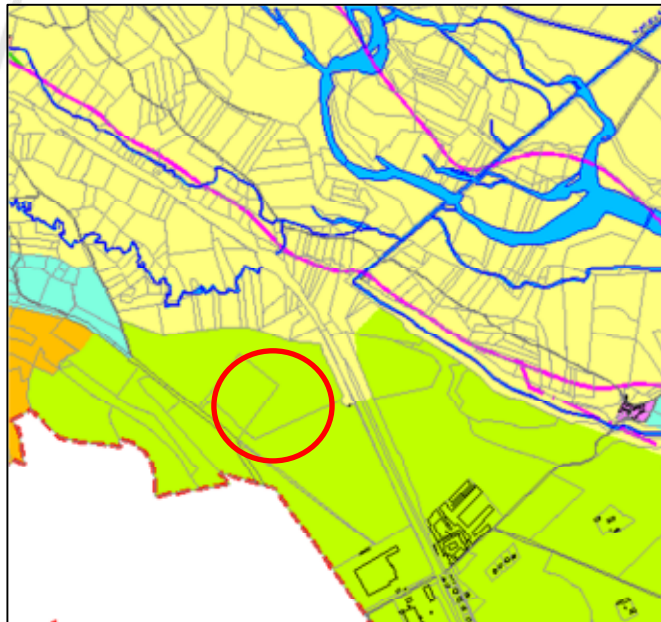
Gli esiti delle indagini geognostiche effettuate in sito, descritti al Capitolo 6 del presente documento, evidenziano la piena compatibilità delle opere in progetto con le Norme di attuazione geologico-tecniche del PRGC; non è stata rilevata nel sottosuolo del sito la presenza di falde idriche superficiali sospese che possano compromettere la realizzazione dell'opera in progetto. La falda idrica risulta infatti essere presente a elevate profondità dal p.c., superiori a 30 m, e non interferisce pertanto con le opere in progetto, spinte fino a profondità massime dell'ordine di 15 m dal p.c.

Le indagini integrative condotte in sito nel luglio 2018, consistenti nell'esecuzione di ulteriori sondaggi, di cui uno spinto fino alla profondità di scavo prevista dal progetto ed attrezzato a piezometro, e nel prelievo di campioni di terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio finalizzate alla determinazione del grado di umidità dello stesso, hanno permesso di escludere completamente la presenza di falde sospese (si veda Capitolo 6). D'altra parte si evidenzia come la circolazione idrica, nei primi 4-5 m di profondità dal p.c., sarebbe impossibile a causa della presenza di uno strato limoso-argilloso a bassa permeabilità.



In merito alla compatibilità dell'opera in progetto con le prescrizioni dettate dalle Norme di attuazione geologico-tecniche del PRGC si ritiene che la stessa sia stata dimostrata dagli esiti delle indagini geognostiche condotte in sito, peraltro perfettamente correlabili con i dati bibliografici disponibili sull'area. Nello specifico si evidenzia come:

- La superficie di falda sia presente a profondità nettamente superiori rispetto alla profondità di scavo di progetto; non vi è alcuna interferenza fra l'opera in progetto e la superficie di falda;
- All'interno del sito non è stata rilevata la presenza di falde sospese. Sia le analisi di laboratorio effettuate sui campioni di terreno prelevati al fine di definire il grado di umidità sia le verifiche effettuate sul piezometro appositamente allestito in sito ad una profondità di 15 m dal p.c. (risultato asciutto) permettono di sostenere con certezza che il terreno oggetto di scavo non contenga acqua gravifica, ovvero non ospiti una falda acquifera;
- Gli scavi in progetto verranno pertanto effettuati completamente fuori falda.



- CLASSE IIa**  
 Porzioni di territorio dove esiste una sola condizione di pericolosità geomorfologica o idrogeologica o idrologica, moderata e superabile con l'adozione ed il rispetto di accorgimenti a livello del singolo lotto o della singola area omogenea.  
*Fenomeni di dissesto: assenti*  
*Caratteristiche geotecniche substrato: discrete - buone*
- CLASSE IIIa**  
 Porzioni di territorio non edificate ove esistono condizioni generalizzate di pericolosità geomorfologica, idrogeologica e/o idrologica, che le rendono inadatte all'utilizzo edilizio in base alle tecniche costruttive attuali ed alle leggi e normative esistenti. Per le opere infrastrutturali di interesse pubblico non altrimenti localizzabili, vale quanto previsto dall'art. 31 della L.R. 56/77.  
*Fenomeni di dissesto: assenti, attivi o quiescenti*  
*Caratteristiche geotecniche substrato: variabili e localmente scadenti*

**Figura h** – stralcio della “Carta di Sintesi della pericolosità geomorfologica e dell’idoneità all’utilizzazione urbanistica”. Scala 1:5.000. In rosso l’area in oggetto.

### 3 INQUADRAMENTO SISMICO

Di seguito viene riportata la zonazione relativa al Comune di Salussola, in merito alla normativa espressa dall'OPCM n° 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" ed alla successiva n° 3519 del 28/04/2006.

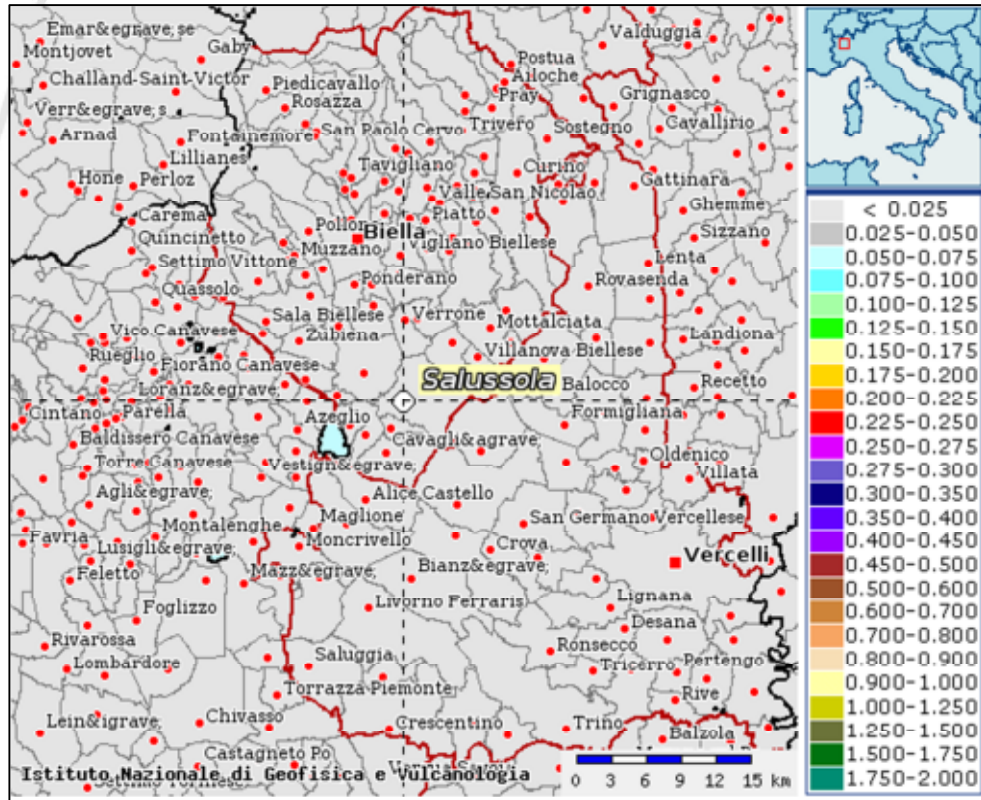
In accordo alla classificazione riportata nei citati documenti, il Comune di Salussola ricade in ZONA 4, la quale definisce i settori di territorio a basso rischio sismico (**Tabella**).

Comune	Zona sismica	Profilo stratigrafico	$a_g$
Salussola	4	Terreni fluvio-glaciali	$\leq 0,05$

**Tabella a:** zonazione sismica (OPCM n° 3519 del 28 /04/2006).

Con l'emanazione della D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010 e della successiva DGR n. 4-3084 del 12 dicembre 2011 (in vigore dal 1 gennaio 2012), integrate e modificate con DGR 7-3340 del 03/02/2012, la classificazione del territorio di Salussola non ha subito variazioni.

Nell'immagine seguente (**Figura** ) è riportata la carta della pericolosità sismica in termini di accelerazione al suolo estrapolata dal sito ufficiale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).



**Figura i** – carta della pericolosità sismica (INGV).

Nei successivi paragrafi si definisce la caratterizzazione sismica del sito in accordo alla metodologia prevista dalle “Norme tecniche per le costruzioni” – D.M. 14 gennaio 2008 e alla Circolare “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni” n°617 del 2 febbraio 2009.

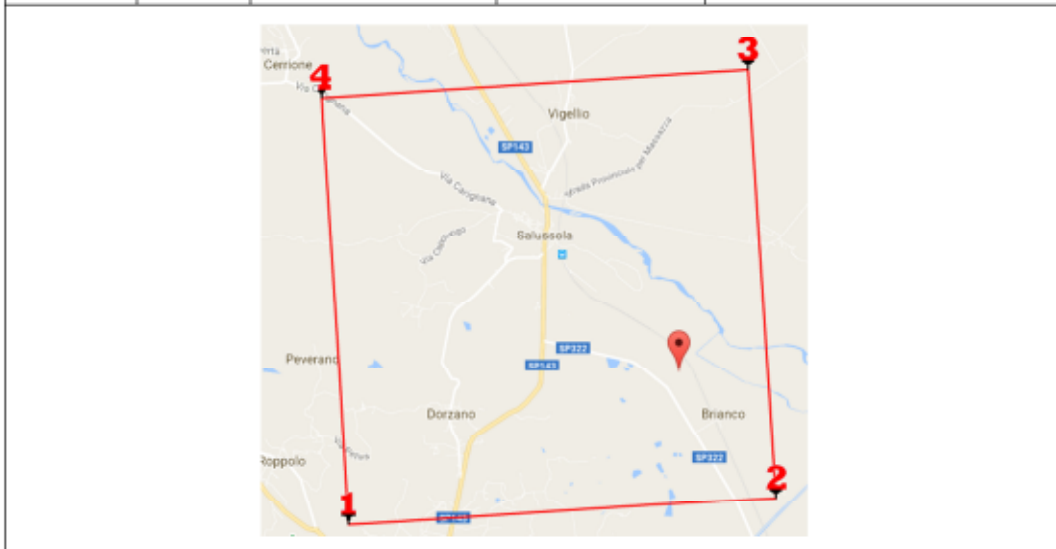
### 3.1 Caratterizzazione sismica del sito

Come prescritto dal DM 14 Gennaio 2008, le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base dal sito di costruzione; essa, per il caso in oggetto, è definita in termini di accelerazione orizzontale attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale e in

considerazione di prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Le coordinate geografiche del sito espresse in gradi sessagesimali e riferite al sistema di riferimento ED50 sono riportate in **Tabella** e sono attribuite ad un punto circa baricentrico all'area in oggetto.

	ID	Longitudine (°)	Latitudine (°)	Distanza (m)
Polo 1	12245	8,0809	45,4138	4719,054
Polo 2	12246	8,1519	45,4169	2053,289
Polo 3	12024	8,1473	45,4668	4027,601
Polo 4	12023	8,0763	45,4637	5855,417



**Tabella b:** poli di riferimento per il sito in oggetto.

### 3.2 Tempo di ritorno

Il valore di progetto dell'accelerazione  $a_g$  viene definito in funzione della probabilità di superamento" in un dato "tempo di ritorno". Queste due grandezze sono correlate tra loro:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$$

Dove:

$T_R$  è il tempo di ritorno,

$V_R$  è il periodo di riferimento dell'opera,

$P_{VR}$  è la probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , per ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella seguente:

	Stati limite	$P_{VR}$
Stati limite di servizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Tabella c:** probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato.

Per l'opera in oggetto le verifiche in condizioni sismiche saranno condotte principalmente facendo riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Nella tabella seguente si riportano i valori della probabilità di superamento e del rispettivo tempo di ritorno relativo alla vita utile dell'opera (**Tabella**).

Tipo di opera	$V_N$ (anni)	$C_u$	$V_R$	$P_{VR}$	$T_R$
2	50	1	50	10%	475

**Tabella d:** probabilità di superamento  $P_{VR}$  e del rispettivo tempo di ritorno.

### 3.3 Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato § 7.11.5 delle NTC-08. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica, si può fare riferimento ad un

approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (si veda **Tabella**).

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o teneri a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20m, posti su substrato di riferimento con $V_s > 800$ m/s

**Tabella e:** categorie di sottosuolo di riferimento.

Sulla base delle indagini geofisiche condotte in un'area ubicata direttamente a SE del sito di intervento (si veda Capitolo 4) il sottosuolo dell'area può essere classificato in categoria "C" (**Tabella**).

### 3.4 Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici come quella in esame, si può adottare la classificazione riportata nella **Tabella**. L'area in esame è caratterizzata da una categoria topografica di tipo "T1".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

**Tabella f:** categorie topografiche

### 3.5 Azione sismica

Secondo quanto disposto dal DM 14/01/2008, i parametri necessari per la determinazione dell'azione sismica di progetto vengono calcolati alla scala del sito utilizzando le informazioni disponibili in un reticolo di riferimento (Allegato B del DM 14/01/2008).

L'area in oggetto ricade nel comune di Salussola ed è situata all'interno del reticolo delimitato dai nodi già riportati in **Tabella**.

I valori al sito sono ottenuti mediando i parametri spettrali ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*c$ ) dei quattro nodi mediante la seguente formula:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Dove:

Discarica per rifiuti non pericolosi per materiali contenenti cemento-amianto  
Comune di Salussola (BI) – Località Brianco  
Relazione geologica - R16-12-11 Rev 2 – Luglio 2018



- P: valore del parametro nel sito in esame;
- P<sub>i</sub>: valore del parametro nell'i-esimo punto della maglia contenente il sito in esame;
- d<sub>i</sub>: distanza del sito in esame dall'i-esimo punto della maglia.

Qualora nel reticolo non siano riportati i valori dei parametri spettrali per il tempo di ritorno richiesto, è possibile ricavare i parametri di interesse mediante interpolazione tra i valori dei parametri corrispondenti ai due tempi di ritorno che comprendono il tempo di ritorno voluto:

$$\log(P) = \log(P_1) + \log(P_2/P_1) \cdot \log(T_R/T_{R1}) \cdot [\log(T_{R2}/T_{R1})]^{-1}$$

Dove:

- T<sub>R</sub> è il periodo di ritorno richiesto corrispondente al periodo di riferimento ed alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento per lo stato limite considerato;
- T<sub>R1</sub> e T<sub>R2</sub> sono i periodi di ritorno più prossimi a T<sub>R</sub> per i quali si dispone del generico parametro P.
- 

Nella tabella seguente (**Tabella**) si riportano i valori dell'accelerazione massima su suolo roccioso (a<sub>g</sub>) e dei parametri spettrali (F<sub>0</sub>, T\*c) per lo SLV ed il rispettivo tempo di ritorno.

Stato limite	Località	Opera	Prob. Di superamento	Tr (anni)	a <sub>g</sub> (g)	F <sub>0</sub> (-)	T*c (sec)
SLV	Salussola	Tipo 2	10%	475	0,039	2,616	0,282

**Tabella g:** accelerazione massima al suolo e parametri spettrali del sito.

Gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia ed alla conformazione topografica vengono messi in conto mediante i parametri  $S_s$  ed  $S_T$ .

Sulla base delle risultanze delle indagini geofisiche effettuate in prossimità del sito (si veda Capitolo seguente), è stata adottata la categoria di sottosuolo di classe C; pertanto, in considerazione dei parametri  $a_g$  ed  $F_0$  definiti nella **Tabella**, si ottiene  $S_s=1,5$  (DM 14/01/2008 Tab.3.2.V).

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab.3.2.VI del DM 14/01/2008. Per il caso in esame si assume  $S_T=1,0$ .

### 3.6 Accelerazione massima al suolo

Gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia ed alla conformazione topografica vengono messi in conto mediante i parametri  $S_s$  (DM 14/01/2008 Tab.3.2.V) ed  $S_T$  (DM 14/01/2008 Tab.3.2.VI).

L'accelerazione massima orizzontale al sito ( $a_{max}$ ) è dunque calcolata come prodotto dell'accelerazione su suolo roccioso e dei fattori di amplificazione:

$$a_{max}=a_g * S_T * S_s$$

Nella seguente tabella sono evidenziati i valori di accelerazione massima orizzontale ed i coefficienti sismici relativi al sito riferiti allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Stato limite	$S_s$ (-)	$C_c$ (-)	$S_T$ (-)	$kh$ (-)	$kv$ (-)	$a_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )	Beta (-)
SLO	1,50	1,91	1,0	0,005	0,002	0,231	0,200
SLD	1,50	1,88	1,0	0,006	0,003	0,282	0,200
SLV	1,50	1,59	1,0	0,012	0,006	0,571	0,200
SLC	1,50	1,57	1,0	0,014	0,007	0,680	0,200

**Tabella h:** accelerazione massima del sito e coefficienti sismici.

#### 4 INDAGINI GEOGNOSTICHE EFFETTUATE NELL'INTORNO DEL SITO DI INTERVENTO

Al fine della ricostruzione dell'assetto geologico del sito a scala locale, sono stati esaminati gli esiti di indagini geognostiche effettuate nell'intorno del sito stesso, di seguito elencate:

- Indagini geognostiche effettuate nel 2016 descritte nel documento "Relazione Geotecnica - Impianto di recupero energetico per la produzione di energia da fonti rinnovabili (biometano), mediante trattamento di rifiuti organici selezionati in processi di digestione anaerobica e compostaggio Frazione Bianco – Comuni di Salussola (BI) e Dorzano (BI)";
- Indagine geognostica eseguita nel 2009 in occasione della realizzazione della "Pedemontana Piemontese", tratta dalla Banca Dati Geotecnica a cura di ARPA Piemonte;
- Indagini geognostiche eseguite rispettivamente nel 1988 e 1998 per l'installazione di pozzi ad uso irriguo.

L'ubicazione delle suddette indagini è riportata in **Figura 4**.

Nei paragrafi seguenti è riportata una descrizione delle diverse campagne di indagini effettuate nell'intorno del sito. Gli esiti delle indagini sono riportati integralmente in **Allegato 1**.

##### 4.1 Campagna geognostica (2016)

Nell'ambito della progettazione di un impianto di trattamento di rifiuti organici collocato in un'area a circa 700 m di distanza in direzione SE dal sito di interesse, sono state effettuate nel maggio 2016 le seguenti indagini geognostiche:

- n°5 prove penetrometriche dinamiche standard (DPSH) con codici identificativi DIN1, DIN2, DIN3, DIN4 e DIN5;

- n°1 acquisizione sismica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) con uno stendimento di 46 m e distanza intergeofonica di 2,0 m.

I risultati delle prove DPSH hanno evidenziato la presenza di uno strato superficiale di terreno rimaneggiato relativamente consolidato (sino a -0,4 m) interpretato come lo strato di riporto posato in sito nell'ambito della pregressa attività, seguito da in livello con modeste caratteristiche di resistenza alla penetrazione. La resistenza alla penetrazione del sottosuolo tende ad aumentare a partire da una profondità di circa 3-3,5 m dal p.c..

L'interpretazione della prova sismica ha permesso di ricostruire il modello sismo-stratigrafico monodimensionale del terreno nei primi 30 m di profondità. Il valore Vs30 determinato è risultato pari a 347 m/s; il valore determinato permette di classificare il sottosuolo del sito nella categoria sismica di classe C (si veda **Tabella e**).

#### 4.2 Banca Dati Geotecnica (2009)

Il portale WebGis gestito ARPA Piemonte ha censito e pubblicato le stratigrafie e le risultanze di prove di laboratorio relative ad indagini effettuate in tutto il territorio regionale. Nel dettaglio, è stata presa in esame la perforazione effettuata nel 2009 avente codice identificativo 107940 ed ubicata a circa 250 m in direzione E rispetto il baricentro dell'area oggetto dell'intervento (si veda **Figura 4**).

Il sondaggio è stato effettuato mediante carotaggio continuo e spinto ad una profondità di 20 metri dal p.c.. Durante la perforazione del sondaggio sono state effettuate le seguenti attività:

- prelievo di n°4 campioni disturbati su cui sono state effettuate le analisi granulometriche;
- esecuzione di n°3 prove SPT (Standard Penetration Test);

- esecuzione di n°2 prove Lefranc per la determinazione della permeabilità del terreno.

Nella tabella seguente si riportano nel dettaglio le risultanze delle analisi granulometriche effettuate (**Tabella**).

ID	Profondità (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Classificazione USCS
Cr1	3,80	47,0	18,0	29,0	0,7	22,92	44,91	31,47	CL=argille inorganiche di bassa plasticità
Cr2	5,80	40,0	27,0	13,0	0,0	11,62	75,06	13,32	ML-OL=limi organici e inorganici di bassa plasticità
Cr3	7,25	25,0	19,0	6,0	38,0	39,75	18,15	4,1	SM=sabbie con fine a bassa plasticità; SC=sabbie con fine plastico
Cr4	9,75	36	20	16	25,5	32,33	24,75	17,41	SC=sabbie con fine plastico

**Tabella i:** sintesi dei risultati ottenuti.

Le analisi granulometriche, i cui esiti sono coerenti con quelle effettuate sui campioni di terreno prelevati direttamente dal sito di intervento (si veda Capitolo 6), evidenziano la presenza dei seguenti litotipi:

- limi sabbiosi con argilla e limi con argilla e sabbia nei primi metri (fino a circa 6 m dal p.c.)
- sabbie argillose con ghiaie e limo a profondità superiori.

Di seguito si riportano gli esiti delle prove SPT e delle prove Lefranc eseguite (**Tabella**):

Profondità (m)	N1	N2	N3	Nspt
6,0	15	21	28	49
12,0	19	24	39	63
18,0	20	28	42	70

Profondità (m)	Permeabilità (cm/s)
8,30	0,8e-4
16,25	0,4e-4

**Tabella j:** sintesi dei risultati delle prove SPT e Lefranc eseguite.

L'assetto litostratigrafico del sottosuolo risulta essere costituito da:

- fra 0 e 0,25: terreno vegetale;
- fra 0,25 e 1,30: sabbia fine limosa con ghiaie;
- fra 1,30 e 4,90: argilla con limo e lenti limoso-sabbiose;
- fra 4,90 e 10,40: ghiaia poligenica;
- fra 10,40 e 20,00: sabbia medio fine debolmente limosa.

### 4.3 Campagna geognostica (1998)

Nel mese di gennaio del 1998 è stato effettuato un sondaggio geognostico con codice identificativo "S1", ubicato in posizione baricentrica all'interno dell'area in oggetto (si veda **Figura 4**).

La perforazione è stata condotta fino ad una profondità di 12,5 m dal p.c.; durante la perforazione del sondaggio non è stata rilevata la presenza di falde acquifere superficiali, coerentemente con quanto

osservato in sito nel corso delle indagini geognostiche effettuate nell'ambito della progettazione.

L'assetto litostratigrafico del sottosuolo è risultato costituito da:

- fra 0 e 0,40: terreno vegetale;
- fra 0,40 e 2,50: paleosuolo alterato;
- fra 2,50 e 12,50: ghiaia e sabbie ciottolose in matrice fine.

Le analisi granulometriche effettuate su un campione di terreno prelevato a 5,5 m di profondità dal p.c. hanno evidenziato la seguente distribuzione percentuale: circa 48,5% di limo e argilla, circa 46% di sabbia e circa 5,5 % di frazione grossolana (ghiaia e ciottoli).

#### **4.4 Campagna geognostica (1988)**

Nel 1988 la Ditta Marellò Virgilio e C. è stata incaricata di eseguire n°2 perforazioni per l'installazione di pozzi ad uso irriguo.

Il primo, con codice identificativo "SALUS01", ubicato a circa 850 m in direzione SE rispetto l'area di intervento, è stato spinto ad una profondità di 91 metri da p.c. mentre il secondo ("SALUS08") risulta essere profondo 87,5 m e collocato a circa 480 m in direzione NE rispetto il precedente. Entrambi i pozzi sono ubicati a SE del sito di interesse (si veda Figura 4).

Come si osserva dalle stratigrafie riportate in Allegato 1, il livello piezometrico misurato nel punto SALUS01, posto ad una profondità di circa 34 m dal p.c., risulta coerente con quello osservato alla scala del sito nel corso delle indagini condotte nell'ambito della progettazione.

## **5 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE CONDOTTE IN SITO NELL'AMBITO DELLA PROGETTAZIONE**

Nel presente capitolo sono descritte le indagini geognostiche effettuate direttamente in sito nell'ambito della progettazione allo scopo di:

- ricostruire la stratigrafia di dettaglio del sottosuolo al fine di:
  - individuare la presenza di livelli argillosi da utilizzare nell'ambito della posa della barriera di fondo della discarica in progetto;
  - definire la profondità e direzione di deflusso della falda acquifera superficiale nell'area di intervento mediante l'installazione di piezometri;
  - verificare la presenza di eventuali falde sospese che potrebbero interferire con le opere in progetto;
- definire le caratteristiche geotecniche del sottosuolo oggetto di intervento;
- definire le caratteristiche ambientali dei terreni oggetto di scavo e di valutare potenziali influenze del fondo naturale del sito relativamente al contenuto di metalli pesanti;
- definire le caratteristiche agronomiche del terreno di scavo superficiale per valutarne le modalità di riutilizzo nelle opere a verde o di ripristino superficiale;
- definire le caratteristiche granulometriche del sottosuolo al fine di stimare i quantitativi di materiale di scavo recuperabile nelle varie fasi di costruzione e allestimento della discarica;
- definire le caratteristiche ambientali delle acque di falda.

Le indagini geognostiche sono state effettuate nel corso di tre campagne successive:



- la prima campagna è stata condotta tra novembre e dicembre 2016;
- la seconda campagna è stata condotta nel luglio 2017, al fine di integrare le informazioni acquisite nel corso della campagna precedente, in accordo alle osservazioni formulate dall'Organo Tecnico istituito presso la Provincia di Biella nel verbale di riunione congiunta dell'11/07/2017;
- la terza campagna geognostica è stata condotta nel luglio 2018 al fine di completare la rete piezometrica del sito, confermare l'assenza di falde sospese nel sottosuolo ed acquisire ulteriori dati circa l'assetto litostratigrafico del sottosuolo, con particolare riferimento all'area di stoccaggio delle terre di scavo.

L'ubicazione delle indagini geognostiche effettuate in sito è riportata in **Figura 5**.

## **5.1 Prima campagna di indagini**

### **5.1.1 Sondaggi a carotaggio continuo**

La campagna di indagini ha previsto l'esecuzione di n°7 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, di cui:

- n°4, denominati con la sigla "S" (S1, S2, S3 e S4), spinti fino ad una profondità di 15 m da p.c.;
- n°3, denominati con la sigla "P" (P1, P4 e P5) adibiti all'installazione di piezometri, spinti fino ad una profondità di 40 m dal p.c..

I fori profondi 40 m sono stati eseguiti mediante un diametro di perforazione pari a 178 mm ed attrezzati successivamente a piezometro tramite l'installazione di tubo in PVC di diametro pari a 5". Il completamento dei piezometri è stato effettuato mediante l'utilizzo di tubazione cieca fino alla profondità di 30 m da p.c. e di tubazione fenestrata da - 30 m fino a fondo foro. Lo spazio anulare tra il tubo in PVC e la parete del foro è stato riempito con filtro drenante in ghiaietto siliceo

calibrato nel tratto fenestrato e pellets di bentonite nel tratto cieco. I piezometri sono stati protetti in superficie mediante chiusino in lamierino fuori terra.

I dati relativi ai singoli sondaggi e le prove eseguite al loro interno sono riportati nella tabella seguente (**Tabella**).

ID	Profondità (m)	Tipo perforazione	Prove SPT	Installazione piezometri
P1	40,0	CC	-	sì
P4	40,0	CC	-	sì
P5	40,0	CC	-	sì
S1	15,0	CC	4	no
S2	15,0	CC	4	no
S3	15,0	CC	4	no
S4	15,0	CC	4	no

**Tabella k:** quadro riassuntivo dei sondaggi eseguiti.

Le stratigrafie dei sondaggi e la documentazione fotografica relativa alle carote di terreno estratte, sono riportate rispettivamente in **Allegato 2** ed in **Allegato 3** del presente documento.

#### 5.1.2 Prove geotecniche in foro

Durante l'avanzamento delle perforazioni di sondaggio sono state condotte n°16 prove penetrometriche dinamiche SPT.

Tali prove sono state effettuate secondo gli standard in vigore, misurando i colpi necessari per l'infissione del penetrometro per 3 tratti di 15 cm l'uno, scartando il primo valore (N1), ed ottenendo il valore  $N_{SPT}$  come somma dei valori corrispondenti ai restanti due tratti (N2+N3). Qui di seguito si riportano gli esiti delle prove SPT condotte nei 4 fori di sondaggio (S1, S2, S3 e S4) e la relativa profondità (**Tabella**).

ID	Profondità (m)	Colpi SPT N1-N2-N3	Litologia riconosciuta	Tipo terreno/addensamento - consistenza
S1	4,0	20-22-28	Limo sabbioso/argilloso	Coesivo/duro
	7,0	48-R	Sabbia limosa	-
	10,0	37-46-R	Sabbia e ghiaia	-
	13,0	42-R	Sabbia e ghiaia	-
S2	4,0	17-31-43	Limo sabbioso	Coesivo/molto duro
	7,0	33-43-29	Sabbia limosa e ghiaia	Coesivo/molto duro
	10,0	40-R	Sabbia limosa e ghiaia	-
	13,0	48-R	Sabbia e ghiaia	-
S3	4,0	10-11-25	Sabbia limosa	Coesivo/duro
	7,0	37-48-R	Sabbia e ghiaia	-
	10,0	40-R	Sabbia e ghiaia	-
	13,0	44-R	Sabbia e ghiaia	-
S4	4,0	8-17-20	Limo sabbioso/argilloso	Coesivo/duro
	7,0	49-R	Sabbia e ghiaia	-
	10,0	8-19-22	Limo sabbioso	Coesivo/duro
	13,0	42-R	Sabbia e ghiaia	-

R: prova a rifiuto

**Tabella I:** sintesi dei risultati delle prove SPT eseguite.

### 5.1.3 Prelievo di campioni disturbati ed indisturbati

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati:

Discarica per rifiuti non pericolosi per materiali contenenti cemento-amianto  
Comune di Salussola (BI) – Località Brianco  
Relazione geologica - R16-12-11 Rev 2 – Luglio 2018

- n°36 campioni di materiale, da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio ai sensi del D.Lgs 152/06 e s.m.i.;
- n°5 campioni di terreno agrario di copertura finalizzati alla caratterizzazione agronomica;
- n°5 campioni destinati alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

L'attività di campionamento ai fini ambientali è consistita nel prelievo di campioni di terreno disturbati, successivamente sottoposti a vagliatura preliminare in campo a 2 cm. Ogni campione prelevato è stato suddiviso in più porzioni previa omogeneizzazione, al fine di ottenere aliquote di campioni significative e rappresentative. Le frazioni selezionate sono state introdotte in sacchetti in nylon e contrassegnate esternamente con un codice identificativo del punto di prelievo e della data di prelievo.

L'attività di campionamento ai fini geotecnici si è basata sul prelievo di campioni di terreno indisturbati (prelevati dal livello limoso-argilloso) e disturbati (prelevati dalla sequenza di ghiaie e sabbie limose).

Tutti i campioni sono stati inviati al laboratorio di competenza entro 48 ore dal campionamento.

I campioni prelevati sono stati inviati ai seguenti laboratori:

- laboratorio Geotecnologico Pavia s.r.l. per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei materiali;
- laboratorio NSA di Robassomero (TO) per la caratterizzazione ambientale e agronomica dei materiali.

I campioni sono stati caratterizzati per i seguenti protocolli analitici:

- Analisi di caratterizzazione ambientale (non per tutti i campioni sono stati ricercati tutti i parametri elencati):
  - scheletro

- metalli (Sb, As, ce, Cd, Co, Cr tot, Cr VI, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, composti organici stannici, Tl, V, Zn)
- cianuri liberi
- fluoruri
- BTEX
- IPA
- Solventi clorurati
- Cloro benzeni
- Fenoli e metilfenoli
- Ammine aromatiche
- Diossine
- PCB
- Fitofarmaci
- Amianto
- pH
- capacità di scambi cationico
- metalli disponibili (Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn)
- fosforo assimilabile
- azoto totale
- carbonio organico totale (TOC)
- carbonati
- analisi tessitura.
- **Analisi di caratterizzazione geotecnica:**
  - analisi granulometrica;
  - valutazione caratteristiche fisiche e volumetriche;

- valutazione limiti di Atterberg;
- prova di permeabilità;
- prova di costipamento (effettuata sui campioni composti prelevati dai sondaggi S2 ed S3 dallo strato di materiale grossolano).

## 5.2 Seconda campagna di indagini

### 5.2.1 Sondaggi geognostici e piezometri

Ad integrazione delle indagini condotte a fine 2016, nel luglio 2017 sono stati effettuati in sito 6 ulteriori sondaggi di cui:

- n°3, denominati con la sigla "S" (S5, S6 ed S7), spinti fino ad una profondità di 22 m da p.c.;
- n°3, denominati con la sigla "P" (P2, P3 e P6) adibiti all'installazione di piezometri, spinti fino ad una profondità di 45 m dal p.c..

I sondaggi spinti fino a 22 m dal p.c. sono stati effettuati a carotaggio continuo, mentre i sondaggi attrezzati successivamente a piezometri sono stati effettuati a distruzione.

I fori dei sondaggi P2, P3 e P6 sono stati attrezzati successivamente a piezometro tramite l'installazione di tubo in PVC di diametro pari a 3". I piezometri sono stati protetti in superficie mediante chiusino in lamierino fuori terra.

Si riporta in **Allegato 4** la documentazione tecnica elaborata dalla ditta che ha effettuato le perforazioni, Citiemme S.r.l., comprensiva di stratigrafie e documentazione fotografica.

### 5.2.2 Prelievo e analisi di campioni di terreno

Nel corso delle perforazioni sono stati prelevati i seguenti campioni di terreno, successivamente sottoposti ad analisi presso il laboratorio NSA di Robassomero:

- 1 campione da ciascun sondaggio effettuato a carotaggio continuo rappresentativo del primo m di profondità dal p.c. da sottoporre ad analisi chimica di laboratorio finalizzata ad integrare lo studio del contenuto naturale di metalli pesanti nel terreno; per i risultati delle analisi condotte sui campioni in questione si rimanda all'elaborato tecnico relativo alla determinazione dei valori di fondo;
- 1 campione da ciascun sondaggio effettuato a carotaggio continuo rappresentativo del livello limoso-argilloso intercettato mediamente fra 0,5 e 5 m dal p.c.; i suddetti campioni, denominati "S5-AG, S6-AG ed S7-AG" sono stati sottoposti ad analisi granulometrica;
- 2 campioni da ciascun sondaggio effettuato a carotaggio continuo rappresentativi del livello di ghiaia e sabbia limosa presente al di sotto del livello limoso-argilloso; i campionamenti sono stati effettuati a profondità comprese fra 5 e 15 m dal p.c., ovvero fino alla massima profondità di scavo prevista dal progetto. In totale sono stati prelevati i seguenti campioni di terreno, successivamente sottoposti ad analisi granulometrica mediante setacciatura:
  - S5 – GR1 (prof. da 8 a 10 m)
  - S5 – GR2 (prof. da 12 a 15 m)
  - S6 – GR1 (prof. da 5 a 8 m)
  - S6 – GR2 (prof. da 12 a 15 m)
  - S7 – GR1 (prof. da 7 a 9 m)
  - S7 – GR2 (prof. da 10 a 12 m).

I risultati delle prove granulometriche condotte sui campioni di terreno prelevati sono descritti al capitolo seguente.



### 5.2.3 Prove di permeabilità in sito

Al fine di ricavare la permeabilità del terreno limoso-argilloso che si prevede di riutilizzare l'impermeabilizzazione della discarica sono state effettuate in sito, da parte dei tecnici del laboratorio NSA di Robassomero, 6 prove di permeabilità tipo Boutwell a carico variabile.

Le prove sono state effettuate in 3 punti, denominati B1, B2 e B3, ubicati secondo lo schema riportati in **Figura 5**. Per ciascun punto sono state eseguite 2 determinazioni a profondità differenti, mediamente comprese tra 1 e 2 metri dal p.c., all'interno del banco naturale di limo argilloso, intercettato in modo ubiquitario fino a profondità dell'ordine di 4,5-5- m dal p.c.

Le prove sono state effettuate adottando la seguente procedura:

- livellamento del terreno su cui posizionare la fustella di acciaio inox di lunghezza variabile da 60 a 70 cm e diametro di 8,50 cm;
- infissione perfettamente verticale nel terreno della fustella avente a un'estremità una scarpa tagliente e, all'altra, tre fori per la livellazione dell'acqua di riempimento. Il disturbo del terreno durante l'infissione è stato minimo e quindi ininfluenza sul risultato finale;
- misura, all'interno della fustella, dell'altezza del carico idraulico iniziale ossia della distanza del terreno dai tre fori di cui al punto precedente;
- riempimento della fustella con circa 4 litri d'acqua fino al raggiungimento dei fori di cui sopra;
- prima misura della temperatura dell'acqua;
- chiusura con LDPE, nastro e tappo adesivo della parte superiore della fustella in modo da impedire qualsiasi perdita di carico idraulico per evaporazione od incremento per evento meteorico;

- misura millimetrica dopo 24 ore della variazione del carico idraulico ossia della posizione del livello dell'acqua al di sotto dei fori di riferimento;
- seconda misura della temperatura dell'acqua;
- calcolo del coefficiente di permeabilità verticale attraverso l'equazione generica del carico variabile. Il valore ottenuto è stato moltiplicato per il fattore di correzione della viscosità cinematica. Detto fattore è funzione della temperatura che è stata calcolata come media delle due massime lette in sito sommata alla minima registrata dal Servizio Meteorologico più vicino al luogo d'indagine.

Nelle immagini seguenti si riporta la documentazione fotografica delle indagini condotte in sito:



*Figura 1: Attività di riempimento e sigillatura fustella*



*Figura 2: fustella infissa durante la prova a quota più profonda*



*Figura 3: fustella infissa durante la prova a quota più superficiale*



*Figura 4: attività di misurazione del battente idraulico al termine della prova*

I risultati delle prove effettuate sono descritti al capitolo seguente.

Discarica per rifiuti non pericolosi per materiali contenenti cemento-amianto  
Comune di Salussola (BI) – Località Brianco  
Relazione geologica - R16-12-11 Rev 2 – Luglio 2018

### 5.3 Terza campagna di indagini

#### 5.3.1 Sondaggi geognostici e piezometri

A completamento delle indagini condotte a fine 2016 e nel luglio 2017, nel luglio 2018 sono stati effettuati in sito 3 ulteriori sondaggi di cui:

- n°1, denominato S8, spinto fino ad una profondità di 15 m da p.c., ubicato all'interno dell'impronta della discarica in progetto indicativamente nel baricentro dell'area compresa fra i precedenti punti di indagine S2, S4, S6 ed S7;
- n°1, denominato S9, spinto fino ad una profondità di 15 m da p.c., ubicato all'interno dell'area destinata allo stoccaggio temporaneo delle terre da scavo; il sondaggio è stato attrezzato successivamente a piezometro mediante l'installazione di tubo piezometrico in PVC da 3" con tratto cieco spinto fra 0 e 1 m dal p.c. e tratto fenestrato spinto fino a fondo foro; l'installazione del piezometro, che è risultato completamente asciutto (si veda paragrafo relativo alle misure piezometriche) è stata finalizzata espressamente ad escludere la presenza di un falda idrica sospesa;
- n°1, denominato P7, spinto fino ad una profondità di 42 m da p.c., ubicato lungo il confine meridionale dell'area destinata allo stoccaggio temporaneo delle terre da scavo; il sondaggio è stato attrezzato successivamente a piezometro mediante l'installazione di tubo piezometrico in PVC da 4" con tratto cieco spinto fra 0 e 24 m dal p.c. e tratto fenestrato spinto fino a fondo foro. Il piezometro installato completa la rete piezometrica del sito prevista dal Piano di monitoraggio e controllo dell'opera in progetto.

I sondaggi S8 ed S9 sono stati effettuati a carotaggio continuo a secco; il sondaggio P7 è stato effettuato a carotaggio continuo a secco fino a 15 m di profondità dal p.c. e quindi a distruzione fino a fondo foro.

Si riportano in **Allegato 5** le stratigrafie dei sondaggi elaborate dalla ditta che ha effettuato le perforazioni, Citiemme S.r.l.; le fotografie delle cassette catalogatrici sono riportata in **Allegato 6**.

### 5.3.2 Prelievo e analisi di campioni di terreno

Nel corso delle perforazioni sono stati prelevati i seguenti campioni di terreno, successivamente sottoposti ad analisi presso il laboratorio NSA di Robassomero:

- da ciascun sondaggio (per quanto riguarda il punto P7 il campionamento è stato condotto per i primi 15 m di perforazione, effettuati a carotaggio continuo) è stato prelevato un campione ogni due metri di avanzamento della perforazione rappresentativo delle seguenti profondità:
  - campione 1 = 0-1- m
  - campione 2 = 2-3 m
  - campione 3 = 4-5 m
  - campione 4 = 6-7 m
  - campione 5 = 8-9 m
  - campione 6 = 10-11 m
  - campione 7 = 12-13 m
  - campione 8 = 14-15 m

I campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi presso il laboratorio NSA di Robassomero finalizzata alla ricerca dei seguenti parametri:

- umidità;
- contenuto di As, Cd, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, Cr tot, Cr VI e idrocarburi con C>12.

Su un numero di campioni selezionati è stata determinata la capacità idrica massima; le analisi sono state effettuate portando a

completa saturazione il terreno e misurando quindi il contenuto dell'acqua totale. Lo scopo delle analisi è stato quello di confrontare il contenuto d'acqua a saturazione con il contenuto d'acqua del terreno allo stato naturale, ovvero così come campionato ed analizzato.

- Dai sondaggi S8 ed S9 stati inoltre prelevati 4 ulteriori campioni di terreno (2 campioni da ciascun sondaggio) rappresentativi del livello di ghiaia e sabbia limosa presente al di sotto del livello limoso-argilloso che si prevede di sottoporre a vagliatura per il recupero della frazione grossolana. I campioni prelevati sono stati così denominati:
  - campione GR1 = rappresentativo dell'intervallo 6-10 m;
  - campione GR2 = rappresentativo dell'intervallo 10-15 m;

I risultati delle analisi di laboratorio e delle prove granulometriche condotte sui campioni di terreno prelevati sono descritti al capitolo seguente.

### 5.3.3 Prove di permeabilità in sito

A completamento delle prove di permeabilità già effettuate nell'ambito della campagna di indagini del luglio 2017, sono state effettuate ulteriori prove di permeabilità nell'area destinata allo stoccaggio temporaneo delle terre da scavo presso la quale si prevede di ricavare la quota parte di limo argilloso necessaria a completare il fabbisogno per la posa dello strato di impermeabilizzazione.

Le prove sono state condotte, adottando la stessa procedura già descritta al Paragrafo 5.2.3, dai tecnici del laboratorio NSA di Robassomero e sono state finalizzate a ricavare la permeabilità del terreno limoso-argilloso che si prevede di utilizzare per la costituzione dello strato di impermeabilizzazione.

Le prove sono state effettuate in 2 punti, denominati B4 e B5 e ubicati secondo lo schema riportato in **Figura 5**. Per ciascun punto sono state eseguite 2 determinazioni alle seguenti profondità:

- determinazione denominata "A" = -1 m
- determinazione denominata "B" = -2 m.

I risultati delle prove di permeabilità integrative sono riportati nel capitolo seguente.

#### **5.4 Sintesi delle caratteristiche dei piezometri installati in sito**

Le caratteristiche dei piezometri installati in sito (profondità, diametro del tubo piezometrico ed intervalli di profondità del tratto cieco e fenestrato) sono riassunte in **Tabella 1**.

#### **5.5 Misure piezometriche**

Una prima campagna di misure piezometriche è stata condotta nel dicembre 2016 sui piezometri P1, P4, e P5 installati in sito nell'ambito della prima campagna di indagini geognostiche effettuate.

A partire dal giugno 2017, in ottemperanza alle richieste formulate dagli enti, è stato avviato un piano di monitoraggio dei livelli piezometrici che ha previsto l'esecuzione di misure con cadenza mensile. Nel luglio 2017 sono state effettuate due misurazioni, una subito dopo l'installazione del piezometro P3 ed una verso la fine del mese comprendente anche i piezometri P2 e P6 nel frattempo installati.

Le campagne di misura successive hanno riguardato l'intera rete piezometrica del sito, composta dai piezometri P1÷6. L'ultima campagna piezometrica effettuata in sito in data 30 luglio 2018 ha compreso anche il piezometro P7, installato nell'ambito della terza campagna di indagini geognostiche condotte.

I risultati dei rilievi piezometrici condotti in sito sono descritti al capitolo seguente. Il periodo di osservazione, compreso fra il giugno 2017 (escludendo la prima campagna piezometrica effettuata a fine dicembre

2016) e luglio 2018 è superiore all'anno e ottempera alle prescrizioni formulate dagli Enti di controllo.

## 5.6 Campionamento e analisi delle acque di falda

Alla data attuale sono state effettuate, da parte dei tecnici del laboratorio NSA di Robassomero, tre campagne di monitoraggio delle acque di falda, rappresentative rispettivamente della stagione invernale (I campagna) e della stagione estiva (II e III campagna).

Le campagne sono state effettuate rispettivamente:

- in data 16/01/2017 dai piezometri P1, P4 e P5;
- in data 28/07/2017 in corrispondenza dei piezometri P1÷P6;
- in data 9/07/2018 in corrispondenza dei piezometri P1÷P6.

Da ciascun pozzo di monitoraggio sono stati prelevati campioni in modalità dinamica tramite pompa elettrosommersa, previo adeguato spurgo dei tubi piezometrici, successivamente sottoposti ad analisi chimica finalizzata alla determinazione dei seguenti parametri:

- metalli (As, B, Cd, Cr tot, Cr VI, Fe, Mn, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn);
- nitrati;
- idrocarburi alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni;
- idrocarburi alifatici alogenati cancerogeni;
- fitofarmaci;
- idrocarburi totali (espressi come n-esano).

Nel corso dell'ultima campagna di monitoraggio, come richiesto dagli Enti di controllo, è stato ricercato anche il parametro amianto.

I risultati delle analisi condotte sui campioni d'acqua di falda prelevati sono riportati al capitolo seguente.



## 6 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO ED IDROGEOLOGICO A SCALA LOCALE

### 6.1 Assetto litostratigrafico

L'assetto litostratigrafico del sottosuolo è stato ricostruito sulla base delle stratigrafie dei sondaggi geognostici effettuati direttamente in sito, riportate rispettivamente:

- in **Allegato 2** (prima campagna - novembre dicembre 2016)
- in **Allegato 4** (seconda campagna – luglio 2017)
- in **Allegato 5** (terza campagna – luglio 2018).

La documentazione fotografica acquisita nell'ambito dell'esecuzione dei sondaggi relativa alla prima campagna di indagini geognostiche è riportata in **Allegato 3**; quella relativa ai sondaggi integrativi effettuati nel mese di luglio 2017 è riportata in **Allegato 4** e quella relativa agli ulteriori sondaggi integrativi effettuati a luglio 2018 è riportata in **Allegato 6**.

In generale, la stratigrafia del sottosuolo risulta così costituita:

- fra 0 m e 0,5 m di profondità dal p.c.: terreno agrario superficiale costituito da limi sabbioso-argillosi con locale rara presenza di ghiaia, di colore marrone e debolmente coesivo;
- fra 0,5 m fino ad un massimo di 5,7 m di profondità: limo sabbioso con argilla di colore arancio con screziature nerastre, fortemente coesivo, con locale presenza di rara ghiaia grossolana arrotondata e poligenica;
- fra 5,7 m fino a 45 m di profondità: sequenza di ghiaie e sabbie limose, di colore variabile dall'ocra al grigio, con locale presenza di ciottoli eterometrici, poligenici, arrotondati e localmente fortemente alterati. Si evidenzia che in corrispondenza dei punti P4 e P5 sono stati intercettati diversi livelli di limi argilloso-sabbiosi di colore variabile dal bruno all'arancio intercalati alla sequenza di depositi grossolani:

- nel P4 nei seguenti intervalli: 15,7÷16,1, 27,5÷28,4, 29,÷30,5, 35,0÷36,0 m di profondità;
- nel P5 nei seguenti intervalli: 30,8÷32,5, 35,0÷36,8 e 38,2÷39,0 m di profondità.

Al fine di ricostruire i rapporti stratigrafici tra i litotipi riconosciuti, sono state elaborate due sezioni litostratigrafiche orientate rispettivamente in direzione NW-SE (Sezione A-A' – si veda **Figura 6**) ed in direzione NE-SW (Sezione B-B' – si veda **Figura 7**).

Come si osserva dalle sezioni, lo scavo previsto per la realizzazione della discarica in progetto, spinto fino ad una profondità massima di 15 m dall'attuale p.c., andrà ad interessare i tre principali litotipi sopra individuati.

La stima degli spessori medi dei singoli litotipi ai fini delle quantificazione delle differenti tipologie di terreno di scavo è riportata nella documentazione di progetto relativa al "Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo", alla quale si rimanda per dettagli.

## 6.2 Risultati delle analisi granulometriche

Nella seguente tabella si riportano i risultati delle analisi granulometriche effettuate sui campioni di terreno prelevati dal livello limoso-argilloso intercettato mediamente fra 0,5 e 5 m dal p.c. nel corso delle prime due campagne di indagine effettuate in sito.

Analisi granulometriche livello limoso-argilloso					
Campione	Profondità (m dal p.c.)	ghiaia	sabbia	limo	argilla
S5 - AG	(1-4,5)	3,9	17,9	52,4	25,8
S6 - AG	(1-4,5)	<0,1	11,1	56,8	32,1
S7 - AG	(1-4,5)	6,4	21,8	50,4	21,4
S2-G1	0,8-1	1	8	55	36
S4-G1	4,15-4,5	1	15	55	29
P1-G1	3,4-3,8	1	16	54	29

**Tabella m:** analisi granulometriche relative al terreno limoso-argilloso

I dati acquisiti nel corso delle due campagne di indagini sono ben confrontabili fra di loro; il materiale che si prevede di utilizzare per lo strato di impermeabilizzazione per il fondo e per la copertura finale della discarica risulta costituito mediamente:

- per il 54% da limo;
- per il 29% da argilla;
- per il 15% da sabbia;
- per una frazione trascurabile di ghiaia, evidente soprattutto sui campioni prelevati dai sondaggi S5, S6 ed S7, che rappresentano dei campioni medi compositi dell'intero livello; i campioni puntuali prelevati dai sondaggi S2, S4 e P1, assimilabili di fatto a campioni indisturbati grazie all'elevata coesione del materiale, si riferiscono invece a porzioni del livello praticamente prive di frazione grossolana.

Nella seguente tabella si riportano i risultati delle analisi granulometriche effettuate sui campioni di terreno prelevati dalla sequenza costituita da ghiaie e sabbie limose intercettata al di sotto del livello limoso-argilloso. I campioni in questione sono stati prelevati a

profondità comprese fra 5 e 15 m dal p.c., ovvero fino alla massima profondità di scavo prevista dal progetto.

La sequenza grossolana, nel tratto di interesse, risulta essere costituita mediamente:

- per circa il 41% da ghiaia (includendo in questa percentuale anche la frazione ciottolosa, praticamente trascurabile); dove presente (campioni S8-GR1 ed S9-GR2), la frazione grossolana superiore alla ghiaia (ovvero superiore alla frazione che si intende recuperare tramite vagliatura) è risultata essere attorno al 10%;
- per circa il 31% di sabbia
- per circa il 26% di limo e argilla (dove determinata - campioni 5/1, 5/3, S8-GR1, S8-GR2, S9-GR1 ed S9-GR2 - la sola frazione argillosa risulta essere compresa fra il 3 ed il 6%).

<b>Analisi granulometriche livello ghiaioso-sabbioso-limoso</b>					
<b>Campione</b>	<b>Profondità (m dal p.c.)</b>	<b>ghiaia</b>	<b>sabbia</b>	<b>limo e argilla</b>	<b>% frazione compresa fra 16 mm e 60 mm</b>
5/1-sondaggio S2	7-15	39,7	37,6	22,7	5
5/3 - sondaggio S3	7-15	29,2	35,4	35,4	4,1
S5-GR1	8-10	58,4	27,1	14,5	33
S5-GR2	12-15	47,5	30,9	21,6	16,4
S6-GR1	5-8	42,6	29,6	27,8	24,3
S6-GR2	12-15	47	33,4	19,6	24,9
S7-GR1	7-9	35,1	35,7	29,2	9,7
S7-GR2	10-12	30,7	38,8	30,5	13,5
S8-GR1	6-10	35,1	23,3	30	22
S8-GR2	10-15	48	24,2	27,8	39,2
S9-GR1	6-10	49,9	23,1	27	35,1
S9-GR2	10-15	31	30,2	30,1	22,4
<b>% media</b>		<b>41,18</b>	<b>30,78</b>	<b>26,35</b>	<b>20,80</b>

**Tabella n:** analisi granulometriche relative al terreno ghiaioso-sabbioso-limoso

La percentuale media di frazione compresa fra 16 e 60 mm, che verrebbe utilizzata per la costituzione degli strati drenanti della discarica, risulta essere pari al 20,8%.

I rapporti di prova relativi alle analisi granulometriche effettuate sui campioni di terreno prelevati durante la prima campagna di indagine, svolta a fine 2016, sono riportati in **Allegato 7**.

I rapporti di prova relativi alle analisi granulometriche condotte sui campioni di terreno prelevati nel corso della seconda campagna di indagine (luglio 2017) sono riportati in **Allegato 8**.

I rapporti di prova relativi alle analisi granulometriche condotte sui campioni di terreno prelevati nel corso della terza campagna di indagine (luglio 2018) sono riportati in **Allegato 9**.

### 6.3 Risultati delle prove di permeabilità

Nel corso della prima campagna di indagine sono state effettuate delle prove di permeabilità di laboratorio a carico variabile su 3 campioni puntuali, rappresentativi del terreno limoso-argilloso che si prevede di utilizzare per l'impermeabilizzazione della discarica.

I risultati delle prove, riportati nella seguente tabella, hanno permesso di ricavare un valore di coefficiente di conducibilità idraulica (k) medio dell'ordine di  $3,6 \cdot 10^{-10}$  m/s. I rapporti di prova relativi alle prove di laboratorio condotte sono riportati in **Allegato 7**.

Campione	Profondità (m)	k (m/s)
P1/G1	3,4-3,8	1,3e-10
S2/G1	0,8-1,0	7,3e-11
S4/G1	4,15-4,5	8,9e-10

**Tabella o:** esiti della prova di permeabilità

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle prove di permeabilità effettuate direttamente in campo nel corso della seconda e della terza campagna di indagine. I relativi rapporti di prova sono riportati in **Allegato 10** e **Allegato 11**.

Prova	Profondità (m dal p.c.)	k(m/s)
B1-A	1	1,3E-09
B1-B	2	8,79E-10
B2-A	1,2	6,56E-10
B2-B	2,1	7,16E-10
B3-A	1,1	4,61E-10
B3-B	1,5	5,39E-10
B4-A	1	4,38E-10
B4-B	2	3,66E-10
B5-A	1	8,02E-10
B5-B	2	9,82E-10

Il coefficiente di conducibilità idraulico medio risulta essere dell'ordine di  $7,14 \cdot 10^{-10}$  m/s.

Le prove di permeabilità effettuate in sito hanno confermato gli esiti delle prove di laboratorio; la lieve differenza fra i valori di permeabilità misurati è giustificabile tenendo conto del fatto che le prime prove sono state effettuate in laboratorio mentre le seconde, sicuramente più rappresentative, sono state condotte direttamente sul terreno in posto.

#### 6.4 Risultati dei rilievi piezometrici

I risultati dei rilievi piezometrici effettuati in sito alla data attuale sono riportati nella **Tabella 2** allegata.

Come si osserva in tabella, la superficie di falda si attesta su valori di soggiacenza compresi fra circa 34 e 37 m dal p.c.; le quote piezometriche risultano dell'ordine di 297-298 m s.l.m..

All'interno dei piezometri P4 e P3 la falda è stata intercettata a profondità inferiori rispetto a quelle si osserverebbero se il gradiente

idraulico all'interno del sito fosse regolare. E' verosimile ipotizzare che nei punti in questione, comunque posti in posizione di monte idrogeologico e quindi già caratterizzati da quote piezometriche maggiori rispetto agli altri piezometri, la falda si trovi leggermente in pressione (con conseguente risalita puntuale del livello piezometrico). Questa condizione è evidente soprattutto nel piezometro P3 in cui la superficie di falda ha mostrato oscillazioni significative, dell'ordine di qualche metro, nell'intervallo di osservazione considerato. In realtà nel corso del rilievo piezometrico stesso si osserva come la superficie di falda all'interno del piezometro tenda progressivamente a riequilibrarsi con la pressione atmosferica una volta aperto il tappo di copertura dello stesso abbassandosi nel tempo.

Si ritiene che le oscillazioni dei livelli piezometrici osservate in P3 e P4 non siano significative in relazione alle condizioni di locale confinamento delle acque di falda, determinate dall'assetto litostratigrafico del sottosuolo che ha mostrato, nel punto P4, la presenza di lenti a bassa permeabilità intercalate alla sequenza fluvioglaciale (tale situazione non è stata apprezzabile durante la perforazione del sondaggio P3, effettuata a distruzione).

Ad eccezione dei suddetti piezometri, le oscillazioni del livello di falda osservate negli altri piezometri presenti in sito sono risultate, nell'intervallo di un anno, piuttosto modeste. Considerando infatti la media fra le differenze fra la quota massima e la quota minima misurata in ciascun piezometro si ottiene un valore dell'ordine di 60 cm.

Anche ipotizzando che all'interno del sito l'escursione stagionale della falda sia confrontabile con quella del pozzo della rete di monitoraggio della Regione Piemonte ubicato a Cavaglià, presso il quale in un periodo di osservazione di 15 anni è stata misurata un'oscillazione massima complessiva di 3,4 m (si veda **Paragrafo 2.4**), non si avrebbe alcuna interferenza fra la superficie di falda e la discarica in progetto, la cui base è prevista ad una profondità di circa 15 m dal p.c.

Tale condizione sarebbe verificata anche se si ipotizzasse che nell'area della discarica la falda si trovasse ad una quota piezometrica

analoga a quella misurata nei piezometri leggermente in pressione (P3 e P4); infatti anche se ipotizzasse che la falda si trovasse ad una quota piezometrica di 204 m s.l.m. (che corrisponde all'incirca alla quota massima misurata in corrispondenza del piezometro P4) e che tale quota subisse un ulteriore innalzamento di 3,4 m (valore corrispondente alla massima oscillazione rilevata nel pozzo ubicato a Cavaglià), arrivando ad una quota di 207,4 m s.l.m., esisterebbe comunque ancora un franco di 15 m fra la base della discarica (quota minima dell'ordine di 222,6 m s.l.m.) e la superficie di falda.

Le verifiche effettuate nel piezometro appositamente installato nel foro del sondaggio S9 non hanno evidenziato la presenza di falde sospese entro una profondità di 15 m dal p.c..

## **6.5 Ricostruzione dell'andamento della superficie piezometrica**

In **Figura 8** è riportata la ricostruzione dell'andamento della superficie di falda elaborata interpolando le quote piezometriche relative alla misura condotta in data 30 luglio 2018. L'interpolazione è stata effettuata considerando tutti i punti di monitoraggio presenti in sito.

La direzione del flusso idrico sotterraneo risulta essere orientata da NNW verso SSE con un gradiente idraulico dell'ordine del 3% in corrispondenza dell'area interessata dall'impronta della discarica in progetto.

A grandi linee l'andamento del flusso a livello locale, orientato sub-parallelamente all'alveo del torrente Elvo, risulta coerente con quello ricostruito a scala regionale (si veda **Figura 3**), sebbene a scala locale sia molto più evidente una componente orientata verso S.

Le quote piezometriche osservate a scala locale, attestate su valori dell'ordine di 197 m s.l.m., risultano essere più basse di circa 13 m rispetto a quelle riportate nella ricostruzione piezometrica effettuata a scala regionale (dell'ordine di 210 m s.l.m. nell'intorno dell'area di interesse).



## **6.6 Coerenza degli esiti delle indagini sito specifiche condotte nell'ambito della progettazione con i dati geognostici pregressi**

L'assetto litostratigrafico del sottosuolo ricostruito in base alle indagini geognostiche condotte direttamente in sito nell'ambito della progettazione confermano i dati ricavati dalle indagini pregresse:

- il sottosuolo è costituito da un livello superficiale limoso-argilloso a bassa permeabilità, esteso fino a a profondità variabili da 2,5 a 5 m circa del p.c.; al di sotto è presenta una sequenza di depositi grossolani di origine fluvioglaciale costituiti da ghiaia e cottoli in abbondante matrice sabbioso-limosa;
- la falda idrica è presente ad elevate profondità dal p.c.; nell'unico punto di indagine pregresso in cui è stata intercettata la falda idrica (punto "SALUS01", ubicato a circa 850 m in direzione SE rispetto l'area di intervento) il dato di soggiacenza, pari a 34 m dal p.c., risulta perfettamente coerente con i dati piezometrici osservati alla scala del sito.

## 7 RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La definizione delle unità geotecniche presenti nel sottosuolo del sito è stata impostata a partire dalle risultanze dei sondaggi a carotaggio continuo.

Sulla base di tali informazioni, sono state individuate tre unità geotecniche:

- **UG0 – terreno agrario:** costituito da limi sabbiosi, di colore marrone, con frammenti vegetali e spessore medio dell'ordine di 0,4 m;
- **UG1 – limo sabbioso con argilla:** questa unità è costituita da limi argillosi di colore arancio, con screziature nerastre ed è caratterizzata da un elevato grado di addensamento. Tale unità si estende al di sotto della UG0 fino a circa 5,2 m dal p.c.;
- **UG2 –ghiaie e sabbie limose:** si tratta di ghiaie con sabbie limose con rari e subordinati ciottoli. La colorazione è variabile dal grigio all'ocra ed il grado di addensamento medio-basso. Tale unità si estende fino ad una profondità massima di 45 m dal p.c. (massima profondità delle indagini condotte in sito).

Come si osserva dalle sezioni di **Figura 6** e **Figura 7**, la base della discarica in progetto poggerà direttamente sull'unità UG2.

## 7.1 Parametri geotecnici

In questo paragrafo verranno definiti i parametri geotecnici caratteristici necessari alla ricostruzione del modello geotecnico del sottosuolo, come richiesto dalla normativa tecnica vigente (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 – D.M. 14/01/2008): *“i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti [...] attraverso l’interpretazione dei risultati di prove e misure in sito”*).

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico si deve intendere una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Per la stima dei valori caratteristici dei parametri geotecnici, verranno utilizzate delle metodologie di correlazione diffuse nel campo della geologia tecnica che permettono appunto di correlare un valore risultante da una prova ad un parametro geotecnico del terreno.

La caratterizzazione geotecnica del sottosuolo è stata quindi effettuata essenzialmente sulla base dei dati relativi alle prove SPT effettuate nei sondaggi e dagli esiti delle prove di laboratorio condotte sui campioni prelevati.

L’unità UG0 non è stata volutamente caratterizzata in quanto oggetto di scotico superficiale per la costruzione dell’impianto in progetto ed i suoi parametri geotecnici sono stati valutati sulla base di dati bibliografici.

Pertanto, qui di seguito verrà descritta la stima dei parametri geotecnici relativi alle unità UG1 e UG2, ricavati sulla base delle risultanze delle prove eseguite sia nei punti di indagine effettuati in passato nell’intorno del sito sia nei punti di indagine effettuati all’interno del sito di intervento a fine 2016.

In **Allegato 7** sono riportati i rapporti di prova relativi alle prove di laboratorio effettuate sui campioni di terreno prelevati nel corso della prima campagna di indagine, condotta a fine 2016.

Sulla base delle prove di laboratorio effettuate (analisi granulometriche e determinazione dei limiti di Atterberg), è possibile definire i terreni come segue:

- unità UG1 come “CH - argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse”;
- unità UG2 come “SC - sabbie con fine plastico”.

Come riportato al capitolo 6, le prove di permeabilità a carico variabile effettuate in laboratorio sui campioni limoso-argillosi prelevati dall’unità UG1 hanno permesso di ricavare un valore di coefficiente di conducibilità idraulica (k) dell’ordine di  $1 \cdot 10^{-10}$  m/s, valore confermato dalle prove di permeabilità condotte successivamente in campo.

Le prove SPT effettuate, hanno consentito di valutare la densità relativa ( $D_r$ ), ovvero la classificazione dello stato di addensamento dei terreni; questo parametro permette di stimare il comportamento dei terreni in campo statico. Tra le correlazioni più frequentemente utilizzate a tale scopo, e di seguito riportate, ci sono quelle di Terzaghi-Peck (1948) e di Gibbs & Holtz (1957), che mettono in relazione il valore di  $D_r$  % con i valori di  $N_{SPT}$ :

NSPT	DENSITA' RELATIVA	
	TERZAGHI-PECK	GIBBS-HOLTZ
0-4	molto sciolta	0-15 %
4-10	sciolta	15-35%
10-30	media	35-65 %
30-50	densa	65-85 %
> 50	molto densa	85-100 %

Per il calcolo dell’angolo di resistenza al taglio di picco ( $\phi'$ ) si è fatto riferimento alle seguenti correlazioni, valide per litologie sabbioso-ghiaiose:

$$\phi' = 0,3N_{spt} + 27$$

da Japanese National Railway

$$\phi' = \sqrt{20N_{spt}} + 15$$

da Owasaki & Iwasaki

che permettono di definire per l'unità UG2 valori compresi rispettivamente nei range di 39,30°-48,60° e 43,64°-52,95°.

La valutazione del modulo di deformazione del terreno (Modulo di Young E) avviene tramite le correlazioni di:

- Bowles (1997)

$$E = 300 (N'_{55} + 6) \text{ per limi sabbiosi e limi argillosi}$$

dove:

$$7.2 \quad N'_{55} = 70/55 N'_{70}$$

7.3  $N'_{70} = c_N N_{spt}$  e' il valore di  $N_{spt}$  normalizzato per tener conto dell'influenza del valore della tensione verticale efficace alla quota di esecuzione della prova

7.4  $c_N = (1/\sigma'_{vo})^{0,5}$  è il coefficiente di correzione della tensione verticale efficace.

- Denver (1982)

$$E = s_1 N_{SPT} + s_2 \text{ per sabbie e ghiaie}$$

dove:

$$7.5 \quad s_1 = 0,756$$

$$7.6 \quad s_2 = 18,75 \text{ (D'Apollonia et al., 1970)}$$

La valutazione del modulo elastico (Coefficiente di Poisson  $\nu$ ) avviene indirettamente tramite il valore dell'angolo d'attrito interno ( $\phi'$ ) per mezzo della classica relazione:

$$\nu = (1 - \text{sen } \phi') / (2 - \text{sen } \phi')$$

Per ciò che riguarda la valutazione della coesione non drenata ( $c_u$ ), è possibile applicare la correlazione di Bowles (1997):

$$c_u = 12 N'_{70} / 2$$

Sulla base delle prove di taglio condotte all'interno dei campioni prelevati in corrispondenza dell'unità UG2, è possibile stimare un valore di coesione efficace ( $c'$ ) medio pari a 0,6 kPa.

La Tabella sintetizza i parametri geotecnici di riferimento relativi alle unità UG0, UG1 e UG2, valutati sulla base delle considerazioni effettuate e dei dati bibliografici consultati.

Unità geotecnica	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c_u$ (kPa)	$c'$ (kPa)	Dr (%)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	k (m/s)
UG0	17,0-18,5	-	10	50-60	20-25	10	0,33	-
UG1	18,0-19,0	250-450	-	85-90	35-45	30-40	0,30	1e-10
UG2	19,0-20,0	-	0,6	20-30	39-49	20-30	0,40	4e-6

**Tabella p:** parametri geotecnici di riferimento.

## 8 ESITI DELLA CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

### 8.1 Analisi condotte sui terreni

I risultati delle analisi ambientali effettuate sui campioni di terreno prelevati nel corso della prima campagna di indagine sono riportati in **Tabella 3** ed in **Tabella 4**. I relativi rapporti di prova sono riportati in **Allegato 12**.

Come si osserva in **Tabella 3**, tutti i parametri ricercati hanno presentato concentrazioni conformi alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) fissate dal D.Lgs 152/06 per siti a destinazione d'uso residenziale / verde, da assumersi quali limiti di riferimento per l'area in relazione all'attuale destinazione d'uso. Si segnalano unicamente diffusi superamenti dei parametri Co, Cr, Ni e V, ascrivibili al fondo naturale dell'area, per i quali è stato elaborato, dalla società Nuovi Servizi Ambientali di Robassomero (TO), apposito studio per la determinazione dei valori di fondo, successivamente integrato a seguito delle osservazioni formulate dall'Organo Tecnico istituito presso la Provincia di Biella nel verbale di riunione congiunta dell'11/07/2017.

Per quanto riguarda le analisi condotte sullo strato di terreno agrario, i cui esiti sono riportati in **Tabella 4**, si evidenzia quanto segue:

- Dal punto di vista granulometrico, il terreno è costituito prevalentemente da frazione fine limoso-argillosa (84-87%) con un contenuto in sabbia dell'ordine del 12-15 % ed un contenuto in ghiaia trascurabile. Fa eccezione il campione prelevato dal sondaggio S3 in cui è stata rilevata una componente ghiaiosa dell'ordine del 28% e sabbiosa dell'ordine del 39%;
- il contenuto di carbonio organico totale (TOC) risulta compreso fra lo 0,11 e lo 0,43%
- la capacità di scambio cationico risulta compresa fra 9,4 e 16,3 cmol/kg;

- il fosforo assimilabile risulta dell'ordine di 0,2-0,3 mg/kg

In **Tabella 5** sono riportati gli esiti delle analisi effettuate sui campioni di terreno prelevati nel corso delle indagini integrative condotte nel 2018. I relativi rapporti di prova sono riportati in **Allegato 13**.

Per quanto riguarda le analisi ambientali, il contenuto di metalli e di idrocarburi totali è risultato ampiamente conforme alle CSC fissate dal D.Lgs 152/06 per siti a destinazione d'uso residenziale / verde.

Per quanto riguarda il contenuto di Cr, Co e Ni, la cui presenza nel sottosuolo del sito è ascrivibile al fondo naturale, le concentrazioni rilevate (espresse senza tener conto dello scheletro dei campioni) sono conformi ai valori di fondo definiti per il sito (si veda Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo).

#### 8.1.1 Grado di umidità del terreno

Gli esiti delle analisi effettuate sui campioni di terreno evidenziano come il grado di umidità dello stesso sia decisamente inferiore a quello dei rispettivi campioni portati a saturazione.

In presenza di falde sospese, non intercettate durante le indagini in quanto assenti alla scala del sito, il contenuto d'acqua dei terreni sarebbe uguale al contenuto d'acqua dei campioni portati a saturazione.

Le analisi effettuate dimostrano come all'interno del terreno del sito oggetto di scavo nell'ambito della costruzione della discarica non sia presente una falda acquifera sospesa.

Le misure piezometriche effettuate all'interno del piezometro installato nel sondaggio S9 (profondità 15 m dal p.c.) evidenziano infatti come lo stesso sia risultato completamente asciutto.

## 8.2 **Analisi condotte sulle acque di falda**

I risultati delle analisi effettuate sui campioni di acqua di falda sono riportati in **Tabella 6** (campagna di gennaio 2017), in **Tabella 7** (campagna



di luglio 2017) ed in **Tabella 8** (campagna di luglio 2018). I rispettivi rapporti di prova sono riportati in **Allegato 14, 15 e 16**.

Le analisi effettuate, rappresentative di una condizione di “bianco” dell’acquifero antecedente alla costruzione della discarica in progetto, hanno evidenziato la conformità dei parametri ricercati alle CSC di riferimento. Si sono riscontrati unicamente lievi superamenti per il parametro Mn nei pozzi di monitoraggio ubicati in posizione di monte idrogeologico (P3 e P4) e laterale (P5) rispetto all’impronta della discarica in progetto (si veda **Figura 8** per l’ubicazione dei piezometri). Nel dettaglio, il Mn ha presentato concentrazioni pari a 106 µg/l in P4 e a 76,1 µg/l in P5 nel corso della campagna di gennaio 2017, risultando ampiamente conforme nel corso della campagna di luglio, e concentrazioni di 454 µg/l in P3 nel corso della campagna di luglio.

Nel corso dell’ultima campagna di monitoraggio condotta in sito tutti i parametri ricercati, incluso il Mn, hanno presentato concentrazioni conformi alle CSC di riferimento.

## 9 CONCLUSIONI

Presso il sito oggetto di studio è prevista la costruzione di una discarica per rifiuti non pericolosi monodedicata a materiale da costruzione contenente amianto.

A completamento degli elaborati tecnici di progetto, è stato redatto uno studio geologico-geotecnico dell'area di intervento al fine di:

- inquadrare l'area in oggetto nel contesto geologico e geomorfologico a scala regionale attraverso l'esame dei dati bibliografici a disposizione;
- esaminare i vincoli di tipo geologico insistenti sull'area;
- ricostruire l'assetto litostratigrafico e idrogeologico del sottosuolo sulla base dei dati bibliografici disponibili a scala locale e sulla base di specifiche indagini geognostiche condotte in sito;
- fornire una caratterizzazione geotecnica dei depositi costituenti il sottosuolo dell'area in oggetto.

Nell'ambito dello studio sono state condotte tre campagne di indagine geognostica, rispettivamente nel periodo novembre-dicembre 2016, nel luglio 2017 e nel luglio 2018, che hanno comportato l'esecuzione di 16 sondaggi, di cui 13 effettuati a carotaggio continuo e 3 a distruzione, l'installazione di 7 (più in piezometro superficiale finalizzato ad escludere la presenza di una falda idrica sospesa) piezometri ed il prelievo di diversi campioni di terreno sottoposti ad analisi geotecnica ed ambientale.

Le indagini condotte hanno permesso di costruire il seguente assetto litostratigrafico del sottosuolo:

- primo orizzonte a tessitura prevalentemente limosa costituito dallo strato di terreno agrario, esteso fino alla profondità di circa 0,4-0,5 m dal p.c.;
- limi sabbiosi con argilla di colore arancio e screziature nerastre, fortemente coesivi, con locale presenza di rara ghiaia grossolana

arrotondata e poligenica, estesi fino ad una profondità massima di circa 5,7 m dal p.c.;

- sequenza di ghiaie e sabbie limose, di colore variabile dall'ocra al grigio, con locale rara presenza di ciottoli eterometrici, poligenici, arrotondati e localmente fortemente alterati, estesa fino alla massima profondità di indagine (45 m dal p.c.) e localmente intercalata in profondità a livelli di limi argilloso-sabbiosi.

La sequenza sopra descritta, di origine fluvioglaciale, ospita una falda libera, la cui superficie si attesta ad una profondità media di circa 35 m dal p.c.. La direzione del flusso idrico sotterraneo risulta essere orientata da NNW verso SSE con un gradiente idraulico dell'ordine del 3%.

Per quanto concerne la pericolosità geomorfologica, l'area di intervento non rientra nell'ambito delle fasce fluviali individuate dal PAI (essendo localizzata all'esterno della fascia C) e risulta classificata in Classe II<sub>a</sub> di idoneità all'utilizzazione urbanistica ai sensi della Circolare 7/lap, caratterizzata nel caso specifico, da *“una sola condizione di pericolosità geomorfologica o idrogeologica o idrologica, moderata e superabile con l'adozione ed il rispetto di accorgimenti a livello del singolo lotto o della singola area omogenea”*.

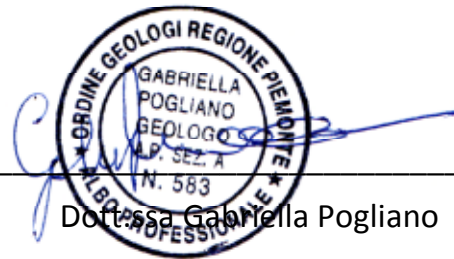
Gli esiti delle indagini geognostiche effettuate in sito evidenziano la piena compatibilità delle opere in progetto con le Norme di attuazione geologico-tecniche del PRGC; non è stata rilevata nel sottosuolo del sito la presenza di falde idriche superficiali sospese che possano compromettere la realizzazione dell'opera in progetto. La falda idrica risulta infatti essere presente a elevate profondità dal p.c., superiori a 30 m, e non interferisce pertanto con le opere in progetto, spinte fino a profondità massime dell'ordine di 15 m dal p.c.

Sulla base delle prove SPT condotte e dell'interpretazione della prova sismica MASW effettuata in un'area adiacente nell'ambito della progettazione di un impianto di recupero energetico, i terreni oggetto di intervento sono classificabili, secondo la classificazione prevista dal D.M

14/01/2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni, come suoli di categoria C.

Sulla base dei dati bibliografici disponibili a scala locale, della valutazione dell'assetto litostratigrafico del sottosuolo e delle prove effettuate in sito ed in laboratorio è stato possibile identificare tre unità geotecniche caratterizzate dai seguenti parametri:

- UG0: corrispondente al terreno vegetale superficiale, caratterizzato da  $\gamma=17-18,5 \text{ kN/m}^3$ ,  $c'=10 \text{ kPa}$  e  $\phi'=20-25^\circ$ ;
- UG1: limi sabbiosi argillosi caratterizzati da  $\gamma=18-19 \text{ kN/m}^3$ ,  $c_u=250-450 \text{ kPa}$  e  $\phi'=35-45^\circ$ ;
- UG2: sabbie e ghiaie caratterizzate da  $\gamma=19-20 \text{ kN/m}^3$ ,  $c'=0,6 \text{ kPa}$  e  $\phi'=39-49^\circ$ .



Dott.ssa Gabriella Pogliano